

# 機械技術研究所報

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING LABORATORY

Vol. 53

May 1999

No. 3

## 目 次

### 研 究

- MRIにおける磁場不均一性の影響評価  
..... 本間 一弘..... (45) 1
- 人工臓器の溶血試験に用いるマイクロカプセル模擬血液  
..... 丸山 修・山根 隆志・西田 正浩・筒井 達夫・軸屋 智昭..... (65) 21
- ダイナミック部分を持つヒト頭部光学ファントムの作製  
..... 今井 大吾・谷川 ゆかり・山田 幸生..... (72) 28
- 学会発表文献紹介  
..... (82) 38

---

機 械 技 術 研 究 所  
茨 城 県 つ く ば 市 並 木

---

Published by  
Mechanical Engineering Laboratory  
Namiki Tsukuba-shi  
Ibaraki Japan

**JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING LABORATORY**

May 1999

Vol. 53, No.3

**Technical Papers**

- Image Artifacts caused by Inhomogeneity of the Magnetic Field in MRI  
..... *Kazuhiro HOMMA* ..... ( 45 ) 1
- Microcapsule Suspension for Hemolysis Evaluation of Artificial Organs  
..... *Osamu MARUYAMA, Takashi YAMANE, Masahiro NISHIDA,*  
*Tatsuo TSUTSUI & Tomoaki JIKUYA* ..... ( 65 ) 21
- Fabrication of realistic human brain phantoms including dynamic part  
..... *Daigo IMAI, Yukari TANIKAWA & Yukio YAMADA* ..... ( 72 ) 28
- The Abstracts of Papers, Reports and Reviews Published in Academic  
Periodicals 1998  
..... ( 82 ) 38

---

Published by  
Mechanical Engineering Laboratory  
The Agency of Industrial Science and Technology  
Namiki Tsukuba-shi  
Ibaraki Japan

---

研 究

---

# MRIにおける磁場不均一性の影響評価

本間 一弘

## Image Artifacts caused by Inhomogeneity of the Magnetic Field in MRI

*by Kazuhiro HOMMA*

### Abstract

For the Magnetic Resonance Imaging (MRI) based on the nuclear magnetic resonance (NMR), a static magnetic field, gradient magnetic fields and radio frequency (RF) wave are applied. An MR image is reconstructed based on the frequency distribution of acquired echo signals depending on the strength of the gradient fields distributed spatially in X, Y and Z direction. In almost of every MR Imaging methods, the spin echo or the gradient echo is detected as the acquired signal. A 180-degree RF excitation is able to generate the spin echo. In other word, spins of resonant nuclei are refocused with 180-phase change. On the other hand, in the gradient echo method, spins are refocused by the inversion of the field strength of the gradient field. The reconstructed image is strongly affected by the characteristics of these magnetic fields, especially, the field homogeneity and the stability of the static magnetic filed and the field gradients.

This paper describes theoretically and experimentally image artifacts caused by the characteristics of the magnetic fields in some typical MR imaging methods. Used imaging methods are the spin echo (SE), the gradient echo (GRE), the echo planer imaging (EPI), the SE-diffusion weighted imaging (SE-DWI) and EPI-DWI. Reconstructed images of some imaging phantoms and biological tissues are quantitatively evaluated on image intensity, geometrical distortion, spatial resolution, image enhancement of relaxation time - T1 (spin-lattice relaxation time), T2 (spin-spin relaxation time) and T2\* (apparent T2)- and diffusion coefficient. In the gradient echo acquisition, if the static magnetic filed or the gradient fields are not uniform in the imaging area, spins could not refocused correctly, or the echo signal is not acquired correctly. Therefore, irregular image intensity, decreasing of the spatial resolution, geometrical distortion and other unexpected features are appeared in the reconstructed image. On the other hand, imaging methods acquired by the spin echo, a 180-degree RF pulse refocuses every spin. So, even if the magnetic field is not homogenized uniquely, spins are refocused correctly.

From these theoretical and experimental results, this paper proposes that the spin echo should be acquired when images are required to be reconstructed correctly for the anatomical and/or the chemical structure such as the relaxation times and the diffusion constant of biological tissues. On the other hand, for imaging with enhancement of the physiological activities of biological tissues, the gradient echo is better than the spin echo. The gradient echo has a possibility to detect phase changes of spins related to the physiological activities.

**Key Words:** MRI (Magnetic Resonance Imaging), Magnetic Field, Homogeneity, Spin Echo, Gradient Echo

## 1. まえがき

NMR (核磁気共鳴: Nuclear Magnetic Resonance)<sup>1)</sup>を原理とするMRI (Magnetic Resonance Imaging; 核磁気共鳴イメージング)<sup>2), 3)</sup>は、時間的に一定で空間的に均一な磁場 (静磁場) 中で、NMR現象を発生させるための共鳴周波数を持つラジオ波 (RF; Radio Frequency) を印加する。MRIにおいて、画像化に必要な空間分離は傾斜磁場を加えて共鳴周波数を遷移させる。従って、MRI画像における空間分解能は、静磁場の安定性や均一性、傾斜磁場強度などに影響を受け、また、検出感度は、静磁場の強度およびその均一性、安定性等の影響を受ける<sup>4)</sup>。また、緩和時間 (T1 [スピン-格子緩和時間], T2 [スピン-スピン緩和時間]) にも影響を与える。特に磁場強度や磁場の均一性の低下に伴って、T2は大きく低減する<sup>5)</sup>。これらのことから、MRIにおいて静磁場の果たす役割は大きく、その安定性や均一性は画質を決定する大きな要因となる。即ち、高速MRI<sup>6), 11)</sup>において多用されるGRE (Gradient Echo法) やEPI (Echo Planar MR imaging) Turbo-FLASH法などのグラジエントエコーを観測する画像化手法では、スピンの位相を反転させないために静磁場の不均一性や組織の磁化率などの影響を大きく受ける。逆に、SE (スピンエコー) を観測するSE法やFast-SE法 (RARE法) では、180° RFパルスによってスピンの位相を反転させることから静磁場の不均一性の影響はグラジエントエコーを観測する場合に比して軽減されると考える。

本論文は、静磁場の均一性や安定性がMRI画像に与える影響に関して画像化手法別に理論的に解析し、実験的に検証する。

## 2. 理論的検討

### 2.1 磁場強度とスピンの位相

静磁場の強度 $H_0$ 、時間的に安定した傾斜磁場 $G(x, y, z)$ 、時間 $t$ で変動する静磁場の不均一性を $H(x, y, z, t)$ とすると、スピンの共鳴周波数は次式となる。

$$\nu = \gamma [H_0 + \Delta H(x, y, z, t) + G(x, y, z)] (1 - \sigma) / 2\pi \quad (1)$$

ここで、 $\gamma$ は磁気回転比とし、 $\sigma$ は化学シフトを与える遮蔽定数、スピンの温度変化が無いと仮定する。(1)式が示すように、スピンの共鳴周波数は測定領域 $(x, y, z)$ に対して与えられる磁場強度 (静磁場と傾斜磁場の和) に比例することになる。従って、静磁場の空間的な不均一性や時間的な不安定性は共鳴周波数を変化させる。(1)式の条件下では、共鳴するスピンの磁気モーメントの挙動はBlochの式で与えられ

ることになる。拡散係数を考慮すると次式<sup>12)</sup>となる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial M_x}{\partial t} &= \gamma_i (M_y H_0 + M_z H_1 \sin \omega t) - \\ &M_x / T_2 + \nabla \cdot D \nabla (M_x - M_{x_0}) \\ \frac{\partial M_y}{\partial t} &= \gamma_i (M_z H_1 \cos \omega t + M_x H_0) - \\ &M_y / T_2 + \nabla \cdot D \nabla (M_y - M_{y_0}) \\ \frac{\partial M_z}{\partial t} &= -\gamma_i (M_x H_1 \sin \omega t + M_y H_1 \cos \omega t) - \\ &(M_z - M_0) / T_1 + \nabla \cdot D \nabla (M_z - M_{z_0}) \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 $D$ は拡散係数、 $H_1$ はRFパルスによってできる局所的な磁場である。また、 $T_1, T_2$ は、各々、スピン-格子緩和時間およびスピン-スピン緩和時間、 $M_{x_0}, M_{y_0}, M_{z_0}$ は $M_x, M_y, M_z$ の初期値とする。

### 2.2 観測信号の強度、画像濃度への影響

#### (1) スピンエコーを観測する手法

スピンエコーを観測するSE法やFast-SE法などにおける磁気共鳴するスピンの挙動を図1に示す。スピンエコーは、図示の180°パルスによるスピンの位相を強制的に180°反転させることにより観測できる。即ち、スピンエコーは、エコー時間 $TE$ に対して90°- $TE/2$ -180°パルス系列で $TE/2$ 時間後に発生する。これは、図示のように90°RFパルスの中心から $TE$ 時間を中心に分布する。180°パルスによりスピンの $x$ 軸を中心に180°反転され、 $TE/2$ 時間後に $y$ 軸上で磁気モーメントのベクトルが合致するためである。図1で与えたスピンエコーを観測する際に、検出コイルに受信される信号の強度 $I_{SE}(t)$ は次式で与えられる<sup>1) 2)</sup>。ここで、 $\rho$ は単位体積当たりの磁気共鳴元素の密度、 $TR, TE$ は繰り返し時間およびエコー時間である。また、 $K$ は検出系の感度で決定される比例定数とする。

$$S_{SE} = K\rho \{1 - \exp(-TR/T_1)\} \cdot \exp(-TE/T_2) \quad (3)$$

(3)式より、組織の信号強度および組織間のコントラストは、組織を構成する元素密度と緩和時間 ( $T_1, T_2$ )、測定時の $TR, TE$ に依存することになる。

#### (2) グラジエントエコーを観測する手法

グラジエントエコーの観測は、 $\theta$ のRFパルス ( $\theta = 5 \sim 90^\circ$ ) のみを用い、エコーの発生は傾斜磁場の反転によって行う。共鳴周波数が磁場強度に比例することからも知れるように、磁気回転比の元素に対して傾斜磁場 $G$ を加えると、 $\theta = Gdt$ に従って元素の磁気共鳴に由来するスピンの位相が変化する。即ち、傾斜磁場とは、空間的に異なる磁場強度を与えることから、各位置での磁場強度に応じてスピンの位相が決定される。位相が揃っていた状態で傾斜磁場を印加するとスピンの位相が不揃いとなり、これに伴って観測される信号の強度が減衰する。その後傾斜磁場

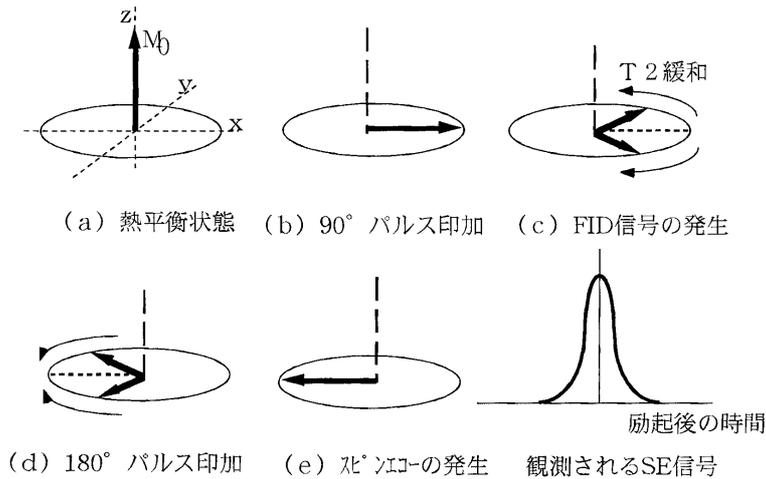


図1 スピンエコーを観測する際のスピンの挙動

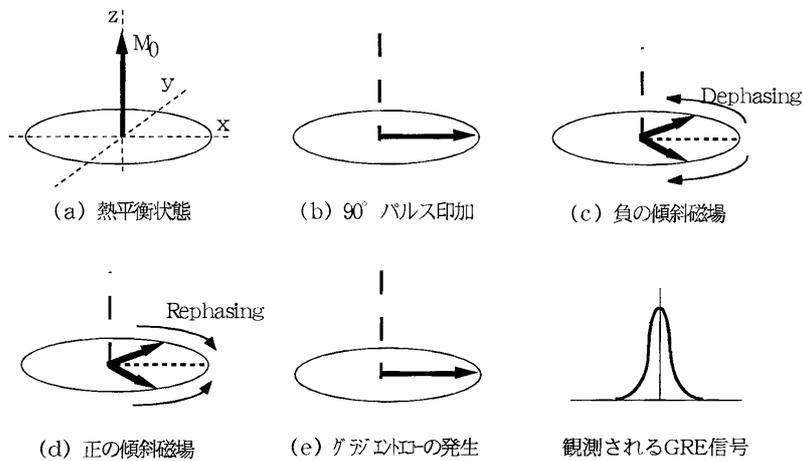


図2 グラジエントエコーを観測する際のスピンの挙動

を反転させると、負の方向に加えた傾斜磁場と等しい時刻でスピンの位相が揃う。この時点で検出コイルに信号（グラジエントエコー）が観測される。グラジエントエコーを観測するGREやEPI法などにおけるスピンの挙動を図2に示す。グラジエントエコー（GRE）法におけるフリップ角は、撮像の高速化を目的とした繰り返し時間TRの短縮により制約を受ける。即ち、T1緩和時間が長い組織を画像化する場合、TRを短縮するとスピンの熱平衡状態に戻る前に次のRFパルスが照射される。このため、スピンの挙動が不定となり、スピン密度や緩和時間が正しく描画されない。この解決策として（i）スピンの挙動を下記に示すSSFP（Steady State Free Precession：定常自由歳差）状態を保つ、非SSFP状態であった場合には、（ii）TRの中でスピンの熱平衡状態（定常状態）に戻るようフリップ角を小さく設定する、（iii）スポイラーパルスにより磁気モーメントの横磁化を消去するの何れかを採用。GRE法におけるRFパルスのフリップ角の最大値は

90°であるが、この理由により、通常は10～45°に設定される事例が多い。観測される信号の強度は、フリップ角に依存する。このため、フリップ角の低減は信号の減弱につながり、S/N比を低下させる。

グラジエントエコーを観測するEPI法は、1回のRFパルスの後に傾斜磁場を多数回（例えば、128×128画素を画像化するには128回）の傾斜磁場の反転を繰り返し、これに伴って発生するグラジエントエコーを観測する。スピンの位相を反転させないことから、グラジエントエコー法と同様に、磁場不均一性の影響を受ける。即ち、(1)式が示すように、一回の傾斜磁場の反転によりスピンの位相に誤差を生じ、その誤差が、磁場の反転を繰り返すことにより、スピンの位相誤差が累積される。グラジエントエコー法では、1回の磁場反転であることから、磁場不均一性の影響は1回受けるのみである。しかし、EPI法では、傾斜磁場を多数回繰り返すことから、その回数に比例した位相誤差を受ける。

観測されるグラジエントエコーの信号強度は、SSFP状態か否かにより次式となる<sup>11)</sup>。GRE法やEPI法などのような非SSFP状態での信号強度  $I_{ss}$  は、

$$I_{ss} = \frac{k\rho\{1 - \exp(-TR/T1)\}\sin\alpha}{1 - \exp(-TR/T1)\exp(-TE/T2) - \{\exp(-TR/T1) - \exp(-TE/T2)\}\cos\alpha} \quad (4)$$

一方、SSFP状態で測される信号の強度  $I_{ss}$  は次式となる。

$$I_{ss} = \frac{k\rho\{1 - \exp(-TR/T1)\} \cdot \exp(-TE/T2)\sin\alpha}{1 - \exp(-TR/T1)\cos\alpha} \quad (5)$$

となる。

### 2.3 空間分解能への影響

MRI画像の空間分解能の評価は、スリット状ファントムの空間周波数に対するMTF (Modulation Transfer Function) を用いて実施した例<sup>13)</sup>があり、これに基づいて、「撮像する全領域において、任意の異なる2点の共鳴周波数が画像内で分離できる最小の周波数差」と定義されている<sup>4)</sup>。

(1)式より、生体内の定点aにおける共鳴周波数は次式で与えられる。

$$v_a = \gamma \cdot [H_0 + \Delta H(a,t) + \{G(x) + \Delta G(x,t)\} \cdot x] \cdot (1 - \sigma) / 2\pi \quad (6)$$

ここで、 $H(a,t)$  は、定点a ( $x=a$ )における静磁場の変動成分、 $G(x,t)$  は、傾斜磁場の空間的・時間的な変動成分である。一方、定点aと位置的に異なる定点b ( $b>a$ )の共鳴周波数  $v_b$  も同様に与えられる。これら2点間の距離は、両者の共鳴周波数の差の絶対値で表される。

$$|v_b - v_a| = |\gamma \cdot \{\Delta H(b,t) - \Delta H(a,t)\} + \{G(x) + \Delta G(x,t)\} \cdot (b-a)| \cdot (1 - \sigma) / 2\pi \quad (7)$$

画像の空間分解能とは、近接する2点が画像上で分離できるか否かで定義される。撮像に際しては、SW (撮像する全領域から得られる信号の周波数スペクトル幅 [FOVに相当]) とSW内のサンプル点数  $N_p$  (画素数に相当) を設定するが、その際には以下の条件を満足する必要がある。

$$SW / N_p \leq |v_b - v_a| \quad (8)$$

(7)式から、 $|v_b - v_a|$  は、によって異なり、静磁場の強度には依存せずに傾斜磁場  $G(x)$  に比例して増大する。また、(i) 静磁場の空間的な均一性、(ii) 傾斜磁場の時間的な変動および空間的な直線性、(iii) 遮へい定数、(iv) 2点間の間隔 ( $b-a$ ) に影響を受ける。

### 2.4 化学シフトへの影響

組織の化学シフトは、前式で規定される。水素を核種と選択すると脂肪成分は、約3.5ppmの周波数変化が発生する。一般に、均一な静磁場  $H_0$  中で測定する組織内の点aにおける共鳴周波数  $v_a$  は、化学シフトを与える遮蔽定数  $\sigma$  を用いて次式で与えられる。ここで、傾斜磁場  $G$  は線形であると仮定する。

$$v_H = \gamma \cdot [H_0 + G(x,y,z)] \cdot (1 - \sigma) / 2\pi \quad (9)$$

一方、時・空間的に静磁場の変動成分 [ $H(x,y,z,t)$ ] により、静磁場の不均一が生じる。この場合の共鳴周波数  $v_t$  は(1)式で与えたようになることから、(9)式との差が化学シフトに与える誤差となる。即ち、次式のように化学シフトの誤差は、 $H(x,y,z,t)$  に比例して増大することになる。

$$|v_t - v_H| = |\gamma \cdot \Delta H(x,y,z,t) \cdot (1 - \sigma) / 2\pi| \quad (10)$$

静磁場の不均一性が遮蔽定数  $\sigma$  に比して大きくなった場合には、近似的に、 $|v_t - v_H| = |\gamma \cdot \Delta H(x,y,z,t) / 2\pi|$  となり、化学シフトの変化は画像上において描出できないことになる。即ち、 $\Delta H / \sigma = |v_t - v_H| = \sigma \cdot 2\pi / (\sigma \gamma - \sigma^2)$  に基づいて磁場不均一性の影響を受ける。従って、化学シフトが小さい組織構造の画像化や静磁場の不均一性が大きい場合ほど、この影響が顕著となる。これと同様に、生体内のイオン自身で局所的な磁場を作り、静磁場の均一性を低下させる。臨床で用いる  $FOV / N_p$  の範囲では、化学シフトと血流の影響は顕著となるが、拡散や灌流、イオンの影響は、 $FOV / N_p$  を  $\mu\text{m}$  レベルに設定した場合に発現する。

## 3. 実験的検証

### 3.1 画像濃度と画像歪

#### (1) ファントム実験

MRI画像における画像濃度と画像歪を解析するために用いたファントムを図3に示す。これは、アクリル製の立方体 ( $4\text{cm} \times 4\text{cm} \times 4\text{cm}$ ) 容器に超純水 (2 Teslaにおける  $T1$  緩和時間 = 2621.98msec [Inversion Recovery法にて測定]、 $T2$  緩和時間 = 765.85msec [CPMG法]) を満たした。このファントムを用いて、SE法、GRE法およびEPI法により撮像し、再構成した画像内の濃度分布および形状変化から、各撮像法にお

立方体容器 (4 cm<sup>3</sup>)

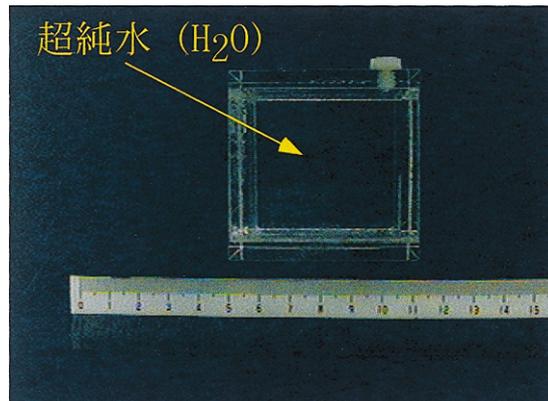


図3 画像濃度および幾何学的変形を評価するために用いたファントム

ける静磁場の影響を解析した。

静磁場に対する影響は、静磁場の均一性を向上するための磁場調整用コイル(シムコイル)に供給する電流を停止して撮像した不均一磁場状態およびシムコイルに供給する電流を調整して静磁場の均一性を最高に高めた均一磁場状態で撮像した。前者からは静磁場の不均一性が解析できる。また、両者の差から各撮像法における静磁場の不均一性の影響が知られる。本論文における均一磁場とは、図3のファントムに対して、観測したエコー信号をフーリエ変換して得られるスペクトルのFWHM(半値幅)を算出し、これを磁場の均一性と定義する。上記の均一磁場の状態でのスペクトルの広がり、0.8ppm(FWHM)および3.44ppm(信号の基底部)、他方、不均一磁場とは1.5ppm(FWHM)および8.1ppm(ベースライン)であった。以下、本論文では、これらの状態を均一磁場、不均一磁場と呼ぶ。

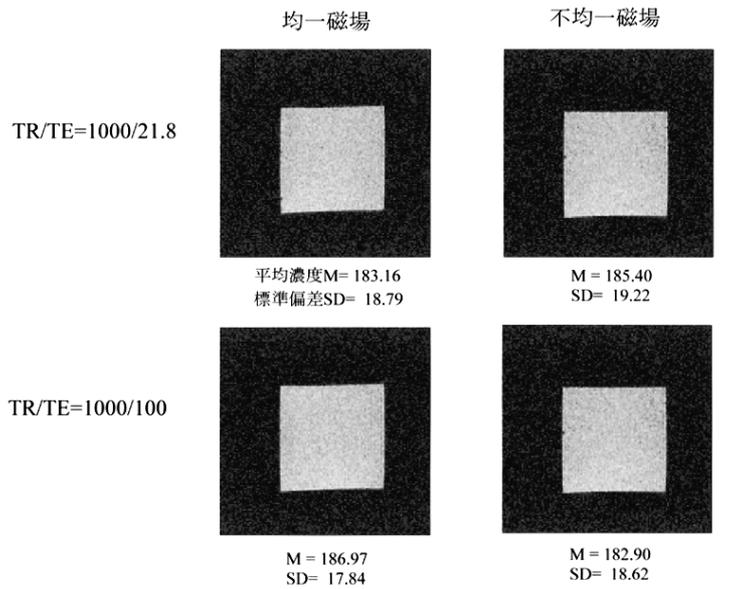
画像化した結果を図4に示す。画像の撮像条件は均一磁場および不均一磁場において同一とした。図中のTRおよびTEは、繰り返し時間とエコー時間を与える。また、ST、NEX、NP、SW、FOV、は、各々、スライス厚、加算回数、画素数、観測するエコー信号のスペクトル幅、画像化する領域の大きさ、フリップ角を与える。画像化した断面は全てSagittal(矢状断)面とし、GRE法は非SSFP状態にて撮像した。実際に用いた画像化手法およびパラメータを図A1に示す。図(a)に示すSE法では、不均一性の影響は、標準偏差SDの若干の変化があるものの、全般的には顕著な磁場不均一の影響はみられない。TEを100msecに増大しても、TEが21.8msecの結果との差異はない。この結果から、画像濃度や画像歪に関しては、スピンエコーを観測すれば磁場不均一性の影響を顕著に受けないと判断できる。一方、図(b)はGRE法により同一ファントムを撮像した結果である。均一磁場の状態でTR=1000msec、TE=21.8msecで撮像した画像は、SE

法の結果と類似する。しかし、不均一状態では画像の平均濃度が低下し、標準偏差が増大する。TEを100msecに延長すると、この変化は一層顕著となる。同様にEPI法の結果を図(c)に示す。撮像に際しては、T2緩和時間を考慮して画素数を128とし、TE=89.8msecとした。磁場不均一性に伴って画像の幾何学的な歪が現れ、平均濃度も低下する。

ここで、磁場の不均一性に伴う画像の変形を評価するために、MRI画像 $f(x, y)$ の画像歪Defを次式のように定義する。

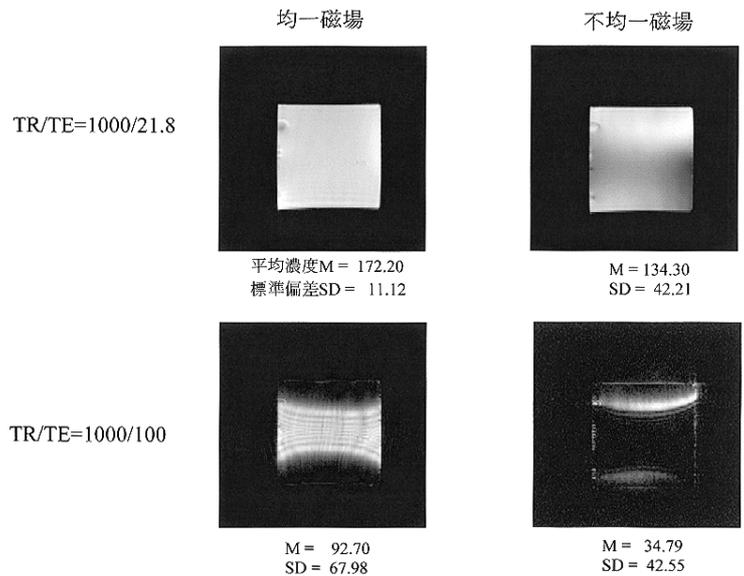
$$Def = \sum_{\omega_x, \omega_y} \left[ abs\{FT\{f(x, y)\}\} - abs\{FT\{f_m(x, y)\}\} \right] \quad (11)$$

即ち、実際のMRI画像に対して、輪郭部位を保持するように画像を2値化した後に2次元フーリエ変換(FT)し、得られる2次元スペクトルの絶対値(abs)を計算する。画像歪を定量的に評価するための基準となる画像は、図3のファントムと同一形状(1辺が4cmの正方形)の2値画像 $f_m(x, y)$ を計算機内に作成し、上記と同様に2次元スペクトルの絶対値を算出した。最後に両者の2次元スペクトルの差分を計算し、その積分値を画像歪Defとして定量化した。解析の結果、SE法の画像歪Defは4584.8(均一磁場)、5640.4(不均一磁場)。GRE法では、5042.5(均一磁場)、5437.5(不均一磁場)。EPI法では、10475.3(均一磁場)、16223.6(不均一磁場)となった。各撮像法における増大比(不均一磁場における画像歪/均一磁場における画像歪)は、1.07(SE法)、1.08(GRE法)および1.55(EPI)法を示した。SE法とGRE法では磁場が不均一性に伴う変形は7~8%程度に留まっている。他方、EPI法では1.55倍の増大がみられ、静磁場の不均一性は幾何学的な変形をきたすことが知れる。磁場の均一性は経時的に変動することから、今回のファントム実験の結果は一つの事例であり、異なったファントムを対象とした場合には、類似の傾向を示すが、解析



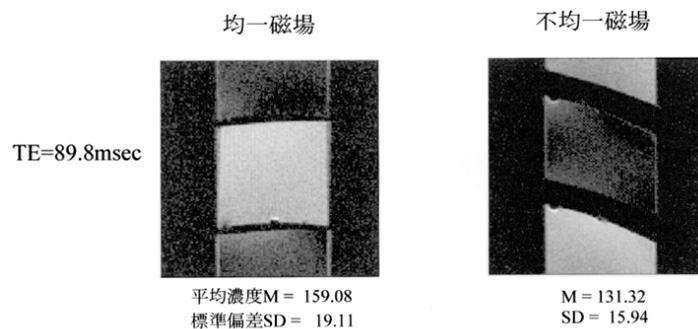
( a ) S E 法

TR=1000msec, TE=21.8msec, 100msec, FOV=80mm  
ST=1mm, NEX=1, SW=50KHz, NP=128×128 pixels, Saggital Section



( b ) G R E 法

TR=1000msec, TE=21.8msec, 100msec, FOV=80mm,  $\alpha=30^\circ$   
ST=1mm, NEX=1, SW=50KHz, NP=128×128 pixels, Saggital Section



( c ) E P I 法

TE=89.8msec FOV=80mm, NP=128×128 pixels,  
ST=1mm, NEX=1, SW=200KHz, Saggital Section

図 4 画像濃度および形状変形の評価

後の数値は異なると考える。

用いたファントムが水溶液であることから、画像は等強度の分布を示すべきである。しかし、GRE法およびEPI法では、画像強度や形状歪において磁場不均一性の影響が顕著に現れる。この原因を次のように考える。磁場不均一性により空間的に異なる位置に存在するスピンは、その位置に対応した磁場強度に依存して位相の変化を受ける。SE法では $180^\circ$  RFパルスによりスピンを反転させることから、スピンの位相が補正されることになる。このため、SE法では磁場不均一性の影響を受けにくい。逆に、GRE法やEPI法は、スピンを反転せずに傾斜磁場の変化で発生するグラジエントエコーを観測する。このため、不均一磁場に起因するスピンの位相誤差が補正できず、誤差が画像上に描出される。GRE法における画像濃度の低下がTEを100msecに延長すると画像濃度が大きく変化する原因は $T2^*$ の影響を大きく受けている。これは、グラジエントエコーは不均一性の影響を大きく受けることを裏付ける結果である。

EPI法の場合、多数のグラジエントエコーを経時的に観測することから、TEが必然的に延長する。このため、SE法やGRE法に比して、 $T2$ 緩和時間に伴って画像強度が低下する。EPI法の特徴は、傾斜磁場の反転を繰り返すことから、磁場不均一性に起因するスピ

ンの位相誤差が累積される点にある。この為、この誤差に起因して幾何学的な画像歪が発生する。また、平均濃度の低下も同一の原因である。

(2) 生体計測

図5に図4と同一条件で撮像した健常者の前腕を画像化した結果(2次元画像、横断[Transverse]面)を示す。SE法においては、図示のように静磁場の均一性に影響を受けず、不均一磁場においても画像濃度に関する変化は認められない。一方、GRE法では、不均一磁場においては、画像濃度は組織を正しく描出している。しかし、不均一磁場においては、画像の中央部において、不正な画像濃度の低下を認める。他方、画像歪に関しては、SE法およびGRE法において顕著な変化は発生しない。これらの変化は、図4で示したファントム実験の結果と一致する。

図6は図5に示す各画像の中央部分に白線枠で示す領域ROI(図中の(a))内のCoronal(冠状断)方向の濃淡分布(b)を示す。ここで、図示の濃淡分布は、濃度の統計誤差を防ぐ目的で、Sagittal(矢状断;画像の縦方向)方向に10画素に渡り積分した。図示の結果から、SE法は磁場不均一性の影響は非常に小さい。GRE法は磁場不均一の影響を大きく受け、図示の例では画像の中心部で画像濃度が低下している。これは、磁場の不均一性にのみ起因する。両者の違いは、エコ

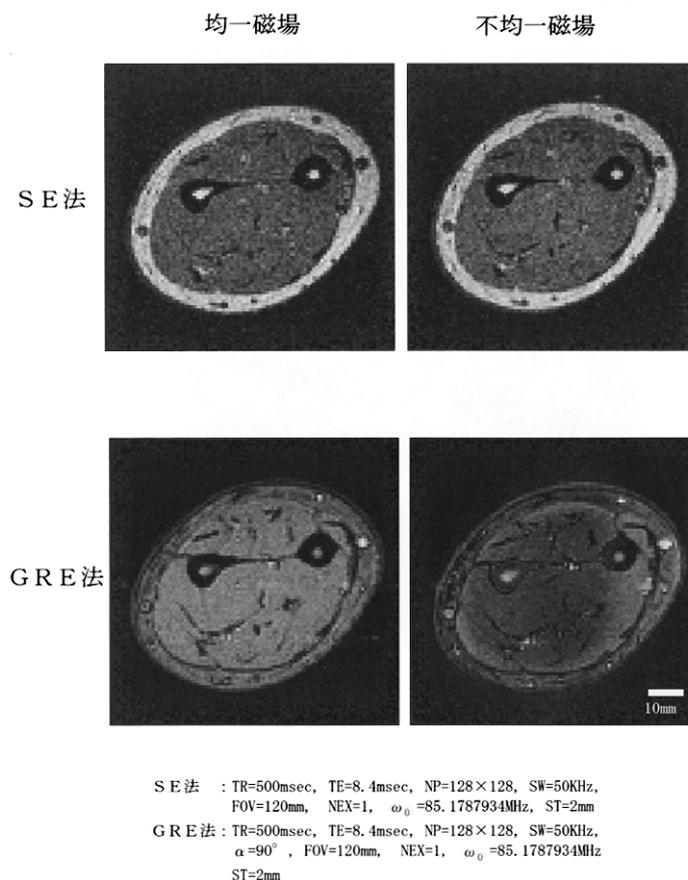


図5 健常者の前腕 (Transverse像)

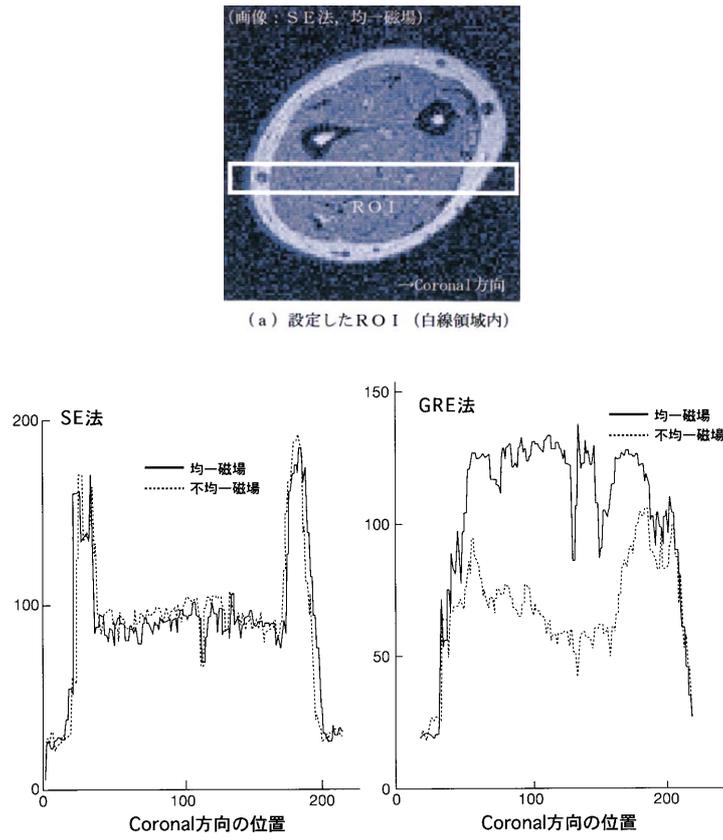


図 6 磁場不均一性が画像濃度に与える影響

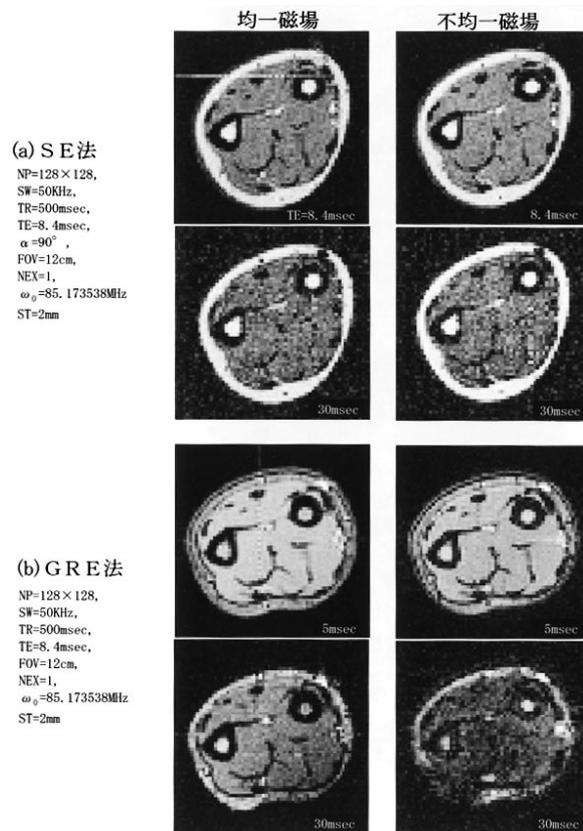


図 7 異なる T E における磁場不均一性の影響

一の信号を発生のために用いる $180^\circ$ パルスと傾斜磁場の反転の差異である。また、異なるTEにおける磁場不均一性の影響を図7に示す。SE法におけるTEは8.4msecと30.0msec、GRE法では5.0msecと30.0msecとした。両手法とも、均一磁場におけるTEの増大に伴う画像濃度の低下などの画質の変化は組織のT2緩和時間に起因する。これに加えて、GRE法では、均一磁場と不均一磁場の状態で両画像間で差異が現れる。

EPI法による健康人前腕の画像を図8に示す。断層面の周辺に位置する脂肪組織は、他の組織と化学組成が異なり、3.5ppmの化学シフトを発現する。EPIでは、高速化のために、傾斜磁場を高速で駆動することから、他の画像化手法に比して、渦電流の誘起が大きい。これが原因してスピンの位相が変化する。この結果、組織が持つ化学シフトの影響を大きく受け、幾何学的な変位として画像上に現れると考える。従って、EPI

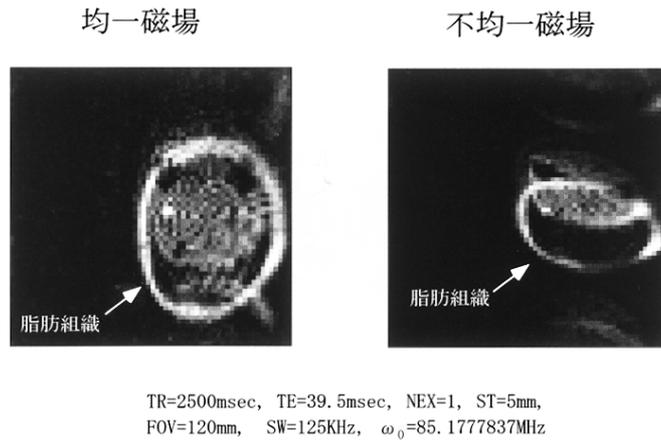
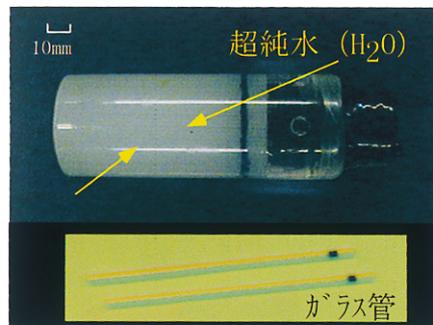
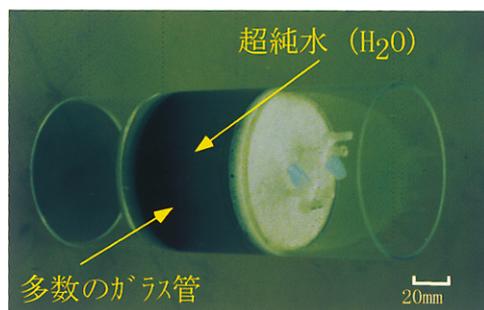


図8 健康者前腕の拡散強調画像 (EPI法)

ガラス管 (内径: 1.1mm, 肉厚:  $0.2 \pm 0.02$ mm, 長さ: 75mm)



(a) 小口径用



(b) 大口径用

図9 空間分解能を評価するために用いたファントム

法では化学シフトの影響も考慮しなければならない。一方、磁場不均一性の影響は、図4(c)で示したと同様に、幾何学的な変形として現れる。

### 3.2 空間分解能

#### (1) ファントム実験

空間分解能を評価するために用いたファントムを図9に示す。画像化する領域の大きさに対応して小口径ファントム(a)および大口径ファントム(b)を用いた。小口径ファントムは、直径30mmのガラス円筒にガラス管(内径:1.1mm, 肉厚 $0.2 \pm 0.02$ mm, 長さ:75mm)を多数入れ、ガラス管内および周辺に図3のファントムと同一の超純水を満たした。一方、大口径ファントムの形状は、内径100mmの亚克力製円筒の中央部に長さ95mmの密室を作り、小口径ファントムと同一のガラス管を多数入れ、ガラス管内および周辺に超純水を満たした。両ファントムとも、測定全領域において空間分解能が評価できるようにガラス管をマグネットのZ方向(主磁場)に密に配列した。

図10に小口径ファントムを用いたSE法、GRE法、EPI法の撮像結果および磁場不均一性の影響を示す。図11に図10で示す各画像の2次元フーリエ変換結果を示す。SE法では、磁場不均一性による顕著な影響は見られない。これに反して、GRE法では、磁場が不均一の状態では、ガラス管の間隔に相当する周期性が見られず、ガラス管の構造が描画できていない。EPI法では、変形に起因して、空間分解能が変化する。GRE法やEPI法の不均一磁場の状態では、画像化する断面内での空間分布が一様ではない。このことを図12に示す。図は、図9(b)のファントムを用い、GRE法において画素数NPを増大して撮像した。同図(a)は、ファントムの測定領域の空間位置を示したもので、検出コイル(Receiver Coil)、マグネットの中心位置(Magnet Center)との幾何学的な位置関係を示す。図(b)はGRE法にて撮像した画像である。図12(b)より、MRI画像における空間分解能は、画像内の領域ごとに異なることが知れる。図13に示すように、画像内に設定した領域(ROI1、ROI2、ROI3)に対して、各々、2次元フーリエ変換した。設定した領域は、画素数を $128 \times 128$ 画素とし画像内で無作為に抽出した。用いたファントムは全領域において一様な構造であることから、各々の領域において等しい周波数分布を示さなければならない。しかしながら、図示の結果から、空間分解能は画像内で異なる。即ち、磁場の不均一性は、画像の空間分解能にも影響を与え、グラジエントエコーを観測する画像化手法において、影響は顕著となる。

#### (2) 生体計測

図14に異なる2名の健常者前腕の横断像を示す。磁場の均一性が変化しても、図(a)のSE法では磁場不均一性の影響が顕著に発現しない。しかし、GRE法

(b)では画像濃度のみならず空間分解能が低下する。また、この現象はTEの増大に伴って影響が顕著となる。このことは、図10~13に示した静磁場の均一性に起因する空間分解能の変化に関するファントム実験の結果を明示している。磁場不均一性の増大は、単に画像濃度に変動を与えるのみならず、画像の空間分解能にも影響を与える。空間分解能は画像化する領域内の磁場不均一性に依存して大きく変化し、経時的・空間的に変動する。従って、MRI画像の空間分解能は図示のように測定時の磁場の不均一性に大きく依存し、その影響は観測するエコーの特徴により異なる。特に、グラジエントエコーを観測する画像化手法において顕著に発現する。グラジエントエコーを観測するGREやEPIなど画像化手法では、撮像する前に磁場の十分な均一性の確保が不可欠となる。

### 3.3 拡散係数

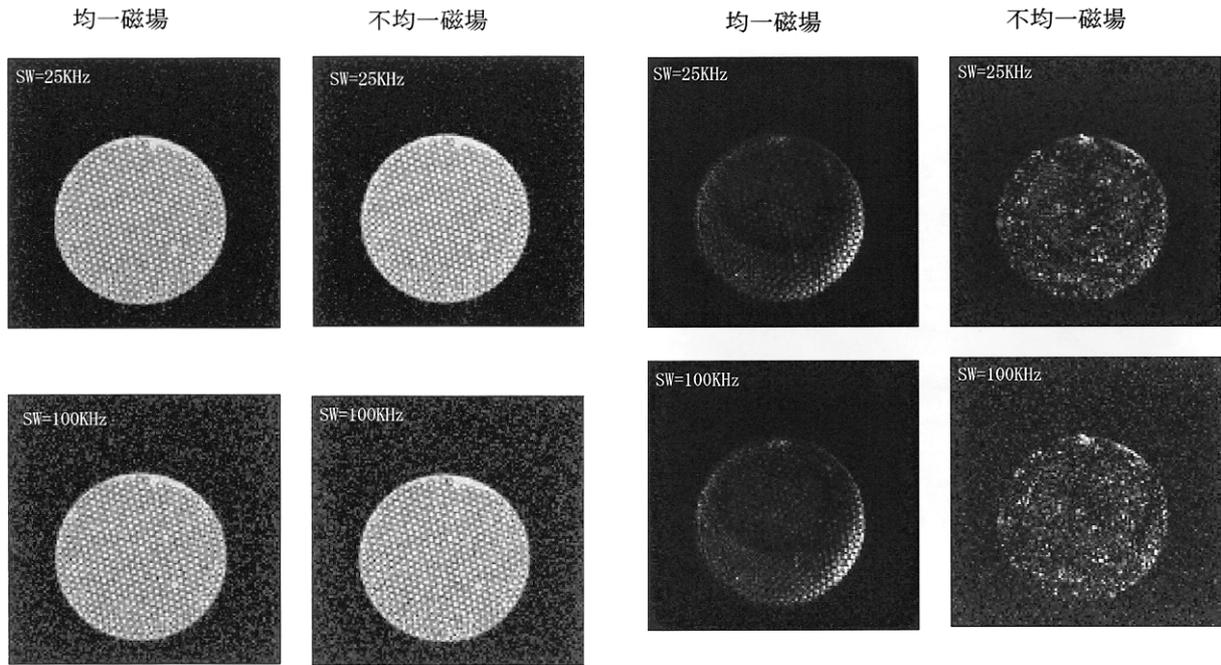
#### (1) ファントム実験

拡散係数の画像化は、NMRで観測可能な水素、リン、ナトリウムなどの磁気共鳴元素の拡散現象の空間分布を画像として提示する。拡散係数を画像化することにより、生体を構成する元素の自己拡散係数が測定できるのみならず、生体内の局所的な血液循環や灌流の状態も無侵襲的に計測することができる。拡散係数の画像化は $180^\circ$ パルスの前後で2つの傾斜磁場PGを印加し、このPGの強度や印加時間などを可変し、これに対し画像濃度の変化から算出する。PGを可変して撮像した画像を拡散強調画像と呼ぶ。

磁場の不均一性が拡散係数の画像化に与える影響を評価するために用いたファントムを図15に示す。同ファントムは、亚克力製の2重円筒容器(外円筒:直径=30mm、長さ=65mm、内円筒:18mm、45mm)に、自己拡散係数が異なるエタノール( $C_2H_5OH$ )と超純水( $H_2O$ )を入れ、画像上に発現する種々の変化を解析した。用いた画像化手法は、SE-DWI(スピンエコー法に傾斜磁場PGを負荷した画像化手法)およびEPI-DWI(EPI法に傾斜磁場PGを付加した画像化手法)とした(添付資料の図A1(d)(e)参照)。図16に図15で示したファントムの拡散係数を画像化した結果を示す。図中、(a)はSE-DWIによる拡散係数の強調画像で、PG間の時間間隔 $BD=13.7$ msecとし、傾斜磁場PGの強度を変えて拡散係数を強調した。各々のB値\*は、 $1343.097$ sec/cm<sup>2</sup>(PG=60mT/m, 印加時間=2msec)および $6357.9$ sec/cm<sup>2</sup>(PG=140mT/m, 印加時間=2msec)とした。画像内部はエタノール、

\* MRIにおける拡散係数の画像化において、SE-DWIに対しては、近年、次式で与えるBの値も併記される場合が多い。

$$B = \sqrt{(PGの強度)^2 \cdot (PGの印加時間)^2 + (BD - PGの印加時間)^2}$$

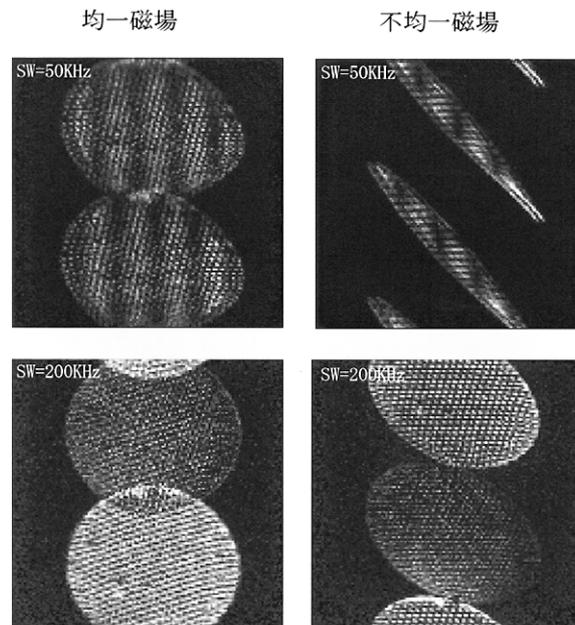


(a) スピンエコー法

TR=2000msec, TE=20msec, SW=25,100KHZ  
ST=1mm, NEX=1, Transverse Section  
NP=128×128 pixels, FOV=60mm

(b) グラジエントエコー法

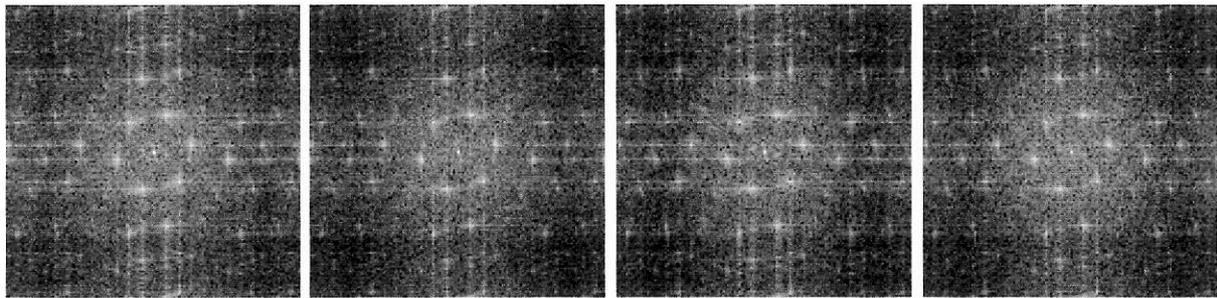
TR=500msec, TE=13.5msec,  $\alpha=45^\circ$   
ST=1mm, NEX=1, Transverse Section  
NP=128×128 pixels, FOV=60mm,  
SW=25,100KHZ



(c) EPI法

TE=171.8msec, SW=50,200KHZ  
ST=1mm, NEX=1, Transverse Section  
NP=128×128 pixels, FOV=60mm

図10 空間分解能の評価



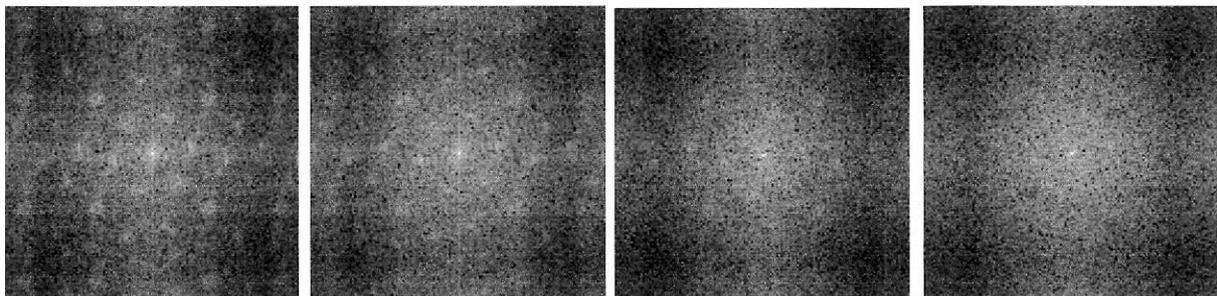
均一磁場, SW=25KHz

均一磁場, 100KHz

不均一磁場, 25KHz

不均一磁場, 100KHz

## ( a ) S E 法



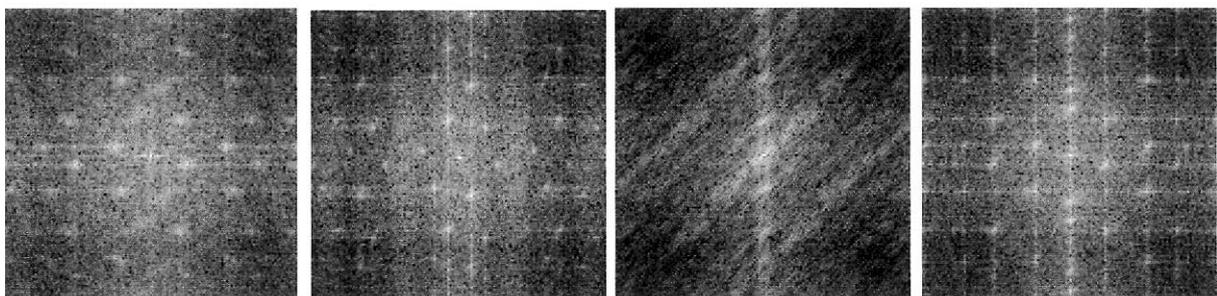
均一磁場, 25KHz

均一磁場, 100KHz

不均一磁場, 25KHz

不均一磁場, 100KHz

## ( b ) G R E 法



均一磁場, 50KHz

均一磁場, 200KHz

不均一磁場, 50KHz

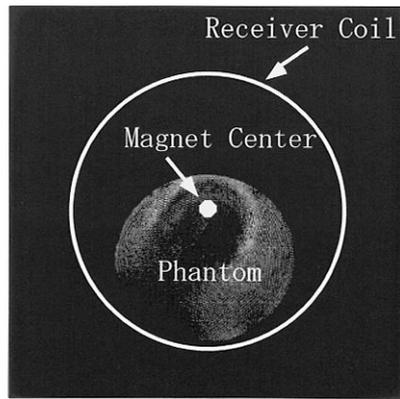
不均一磁場, 200KHz

## ( c ) E P I 法

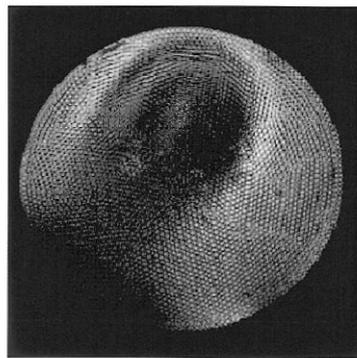
図11 各画像化手法 ( 図10 ( a ) ~ ( c ) ) の2次元フーリエ変換結果

外部は超純水である。一方、( b ) は同一ファントムに対するEPI - DWIによる拡散係数の強調画像で、拡散係数を画像化するにはSE - DWIと同様に傾斜磁場PGの強度を可変した。Bは、各々、 $4534.585 \text{ sec/cm}^2$  ( PG=60mT/m、印加時間= 2 msec ) と  $24688.295 \text{ sec/cm}^2$  ( PG=140mT/m、印加時間= 2 msec ) である。SE - DWIでは、Bの増大に伴って画像濃度が低下し、ファントムの拡散係数が正しく描画されていることが知れる。他方、EPI - DWI法においてもBの増大に伴って画像

濃度が低下しており、拡散係数の差異が画像上に現れている。しかし、EPI特有の幾何学的な変形があり、また、EPI法ではTEの短縮が困難であることから、T2緩和時間の短い物質の拡散係数の画像化に対しては適切な手法とは言えない。逆に、EPI法の特徴である高速撮像を必要とする場合や、磁化率の変化として現れる生体内変化を描出する場合には有益な手法と言える。



(a) ファントムの幾何学的な位置



(b) GRE法による再構成画像

TR=7000msec, TE=13.5msec, NP=512×512, SW=50KHz,  
 $\alpha=90^\circ$ , NEX=1,  $\omega_0=85.179332\text{MHz}$ , ST=30mm

図12 空間分解能の空間分布

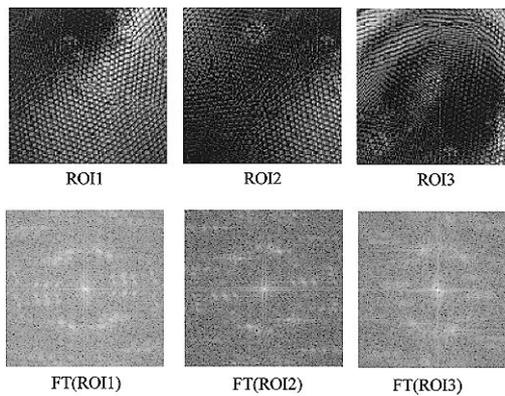
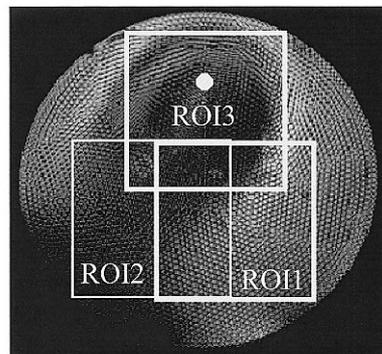
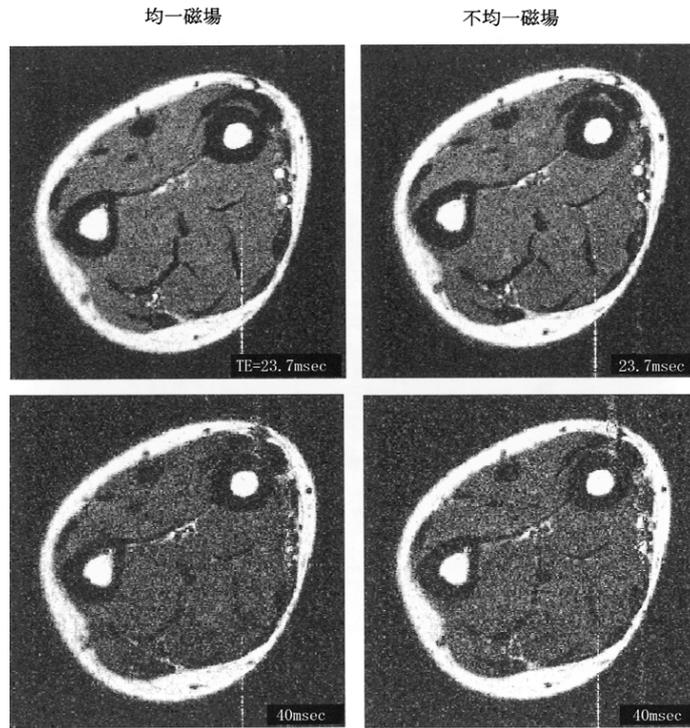
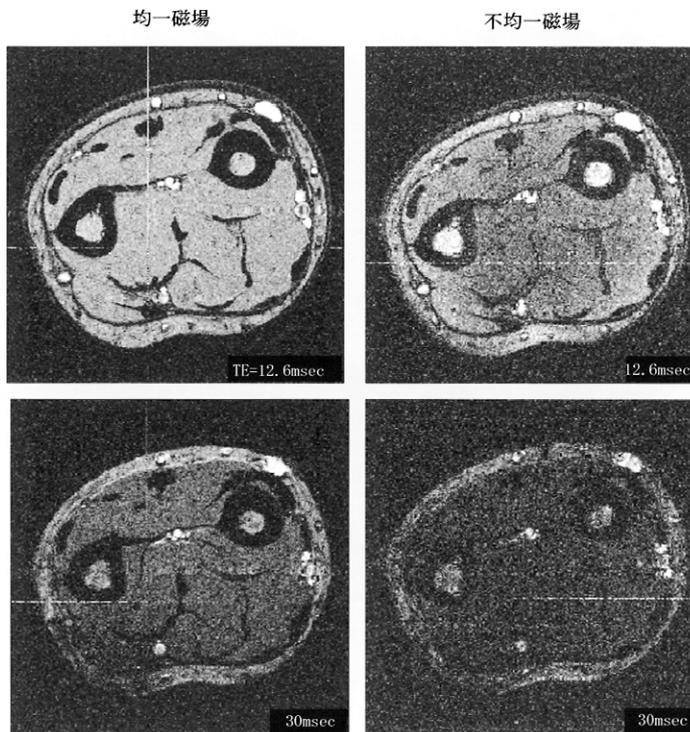


図13 画像内の空間分解能の空間分布



(a) S E 法

TR=500msec, TE=23.7, 40.0msec, NP=512×512, SW=50KHz,  
FOV=120mm, NEX=1,  $\omega_0=85.173538\text{MHz}$ , ST=5mm



(b) G R E 法

TR=500msec, TE=12.6, 30.0msec, NP=512×512, SW=50KHz,  
 $\alpha=90^\circ$ , FOV=12cm, NEX=1,  $\omega_0=85.173538\text{Hz}$ , ST=2mm

図14 健康者の前腕 ( Transverse像 )

外円筒：30mmφ,長さ：65mm  
内円筒：18mmφ,長さ：45mm

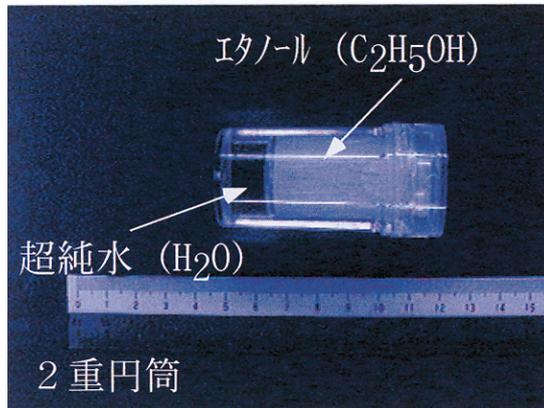


図15 拡散係数の評価に用いたファントム

## (2) 生体計測

健康人前腕の拡散強調画像を図17に示す。図中の (a) はSE - DWI法を、また (b) はEPI - DWIによる。SE - DWI法では、PGの増大に伴って各組織の画像濃度が低下している。画像濃度の低下は組織の拡散係数に比例しており、正しく拡散係数が画像上に現れている。EPI - DWI法では、断層面の周辺に位置する脂肪組織が画像内で変位しているが、これは図8と同様、脂肪組織の化学シフトに起因する。一方、画像濃度と組織間コントラストの低下は、図16 (b)と同様にTEの短縮が困難であることから、T2緩和時間が短い組織では画像濃度が低下する。

## 4. 考察

### 4.1 観測する信号の特徴

#### (1) スピンエコーの特徴

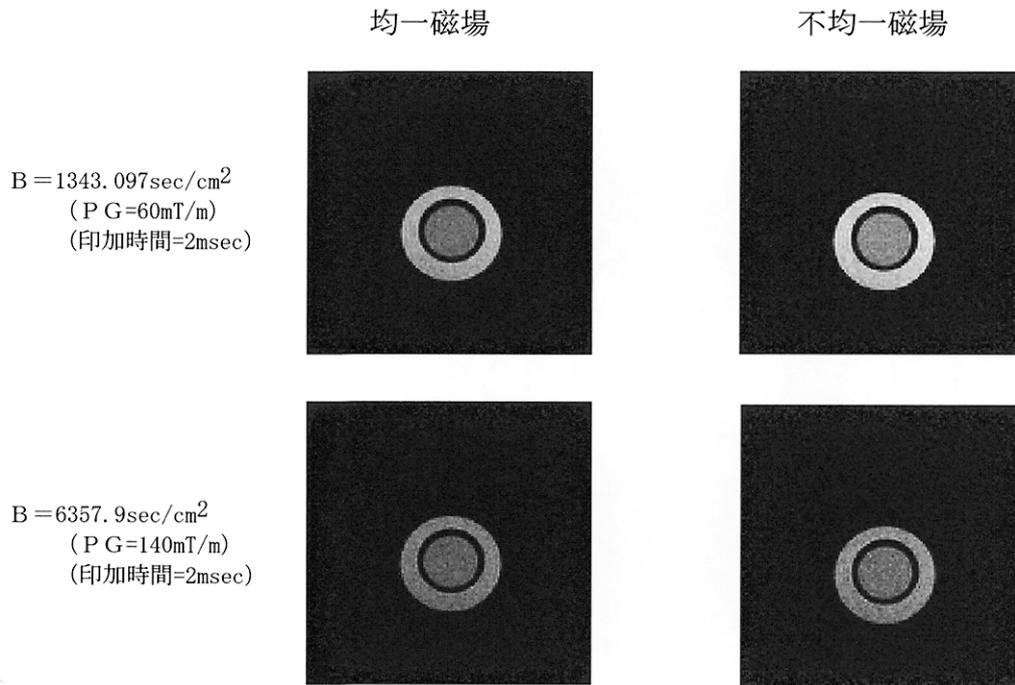
スピンエコーでは (3) 式で示すように、再構成される画像の強度は撮像時の繰り返し時間TRとエコー時間TEに依存して変化する。従って、着目する組織や疾患の明瞭な描出、組織間のコントラストの増大のためには着目する組織の緩和時間とスピン密度を推定し、最適なTRとTEを算出することが不可欠となる。設定するTRとTEに依存して、組織間の識別が困難になる場合や画像濃度が逆転する場合もある。スピンエコーを観測する利点は、180° RFパルスを時系列的に照射した際には、偶数番目のエコー信号は、磁場やRF波の不均一性による位相誤差が補正できる点にある。逆に、TE (エコー時間) が長くなることに起因して、画像のS/N比が低下する欠点がある。緩和時間 (T1, T2) を正確に強調したい場合には、T1に対してはIR (Inversion Recovery: 反転回復) 法を、T2に対してはSE法を選択するのが最善である。

#### (2) グラジエントエコーの特徴

化学シフトイメージング、血流イメージング、fMRIなどにおいてもグラジエントエコーを観測して画像再構成する機会が多い。これは、TRの短縮により撮像の高速化、TEの短縮による緩和時間の短い組織の画像化などを目的とする。血流の画像化や時・空間的に変位する組織を捉えるためには高速撮像が不可欠となっている。グラジエントエコーを観測する際には、TR, TEおよび が撮像時のパラメータになる。これらは、スピンエコーの観測と同様に組織や疾患の緩和時間 (T1, T2) を予測し、これらの値から最適設定する必要がある。

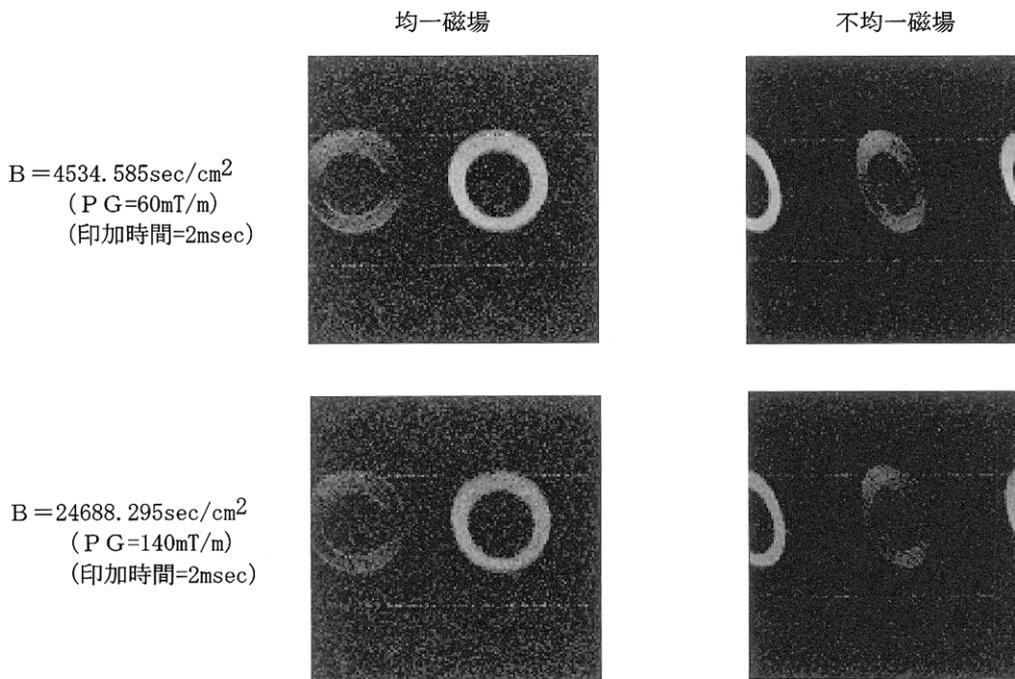
グラジエントエコーは180°パルスを用いず、傾斜磁場の反転によりエコーを発生させる。このため、傾斜磁場および静磁場の精度 (時間的な安定性、空間的な分布状態) が重要となる。静磁場の不均一性が大きい場合や傾斜磁場の精度が低い場合には全てのスピンの位相を合わせることが困難となり、観測される信号が低減する。また、傾斜磁場の変動に起因して発生する渦電流は画像内での不整な濃淡変化を誘発することから、これを抑えることが不可欠となる。また、GRE法は、エコー時間TEの短縮を可能にする。このことは高速撮像を可能にすると共に、T2緩和時間の短い組織の画像化に対してはSE法に比して有意と考える。但し、GRE法に対しては傾斜磁場の立ち上がりや立ち下りに要する時間が短いことが必要になる。グラジエントエコーをMRIに利用する利点はTEが短縮でき、これに伴って撮像時間が短縮されることにある。SE法に比して高速撮像を可能にする。反面、磁場やRF波の不均一性の影響を受ける欠点がある。また、磁化率の変化は顕著に現れる。

グラジエントエコーの観測において、SSFP状態を保って画像化することにより、フリップ角の増大を可



(a) SE-DWI による拡散係数の強調画像

TR=2000msec, TE=21.8msec, SW=50KHz, NEX=1, ST=1mm, NP=128×128  
 FOV=80mm, BD=13.7msec, 画像内部はエタノール、外部は超純水。



(b) EPI-DWI による拡散係数の強調画像

TR=2000msec, TE=92.0msec, SW=200KHz, NEX=1, ST=1mm,  
 NP=128×128, FOV=80mm, BD=44.57msec

図16 拡散強調画像 (ファントム)

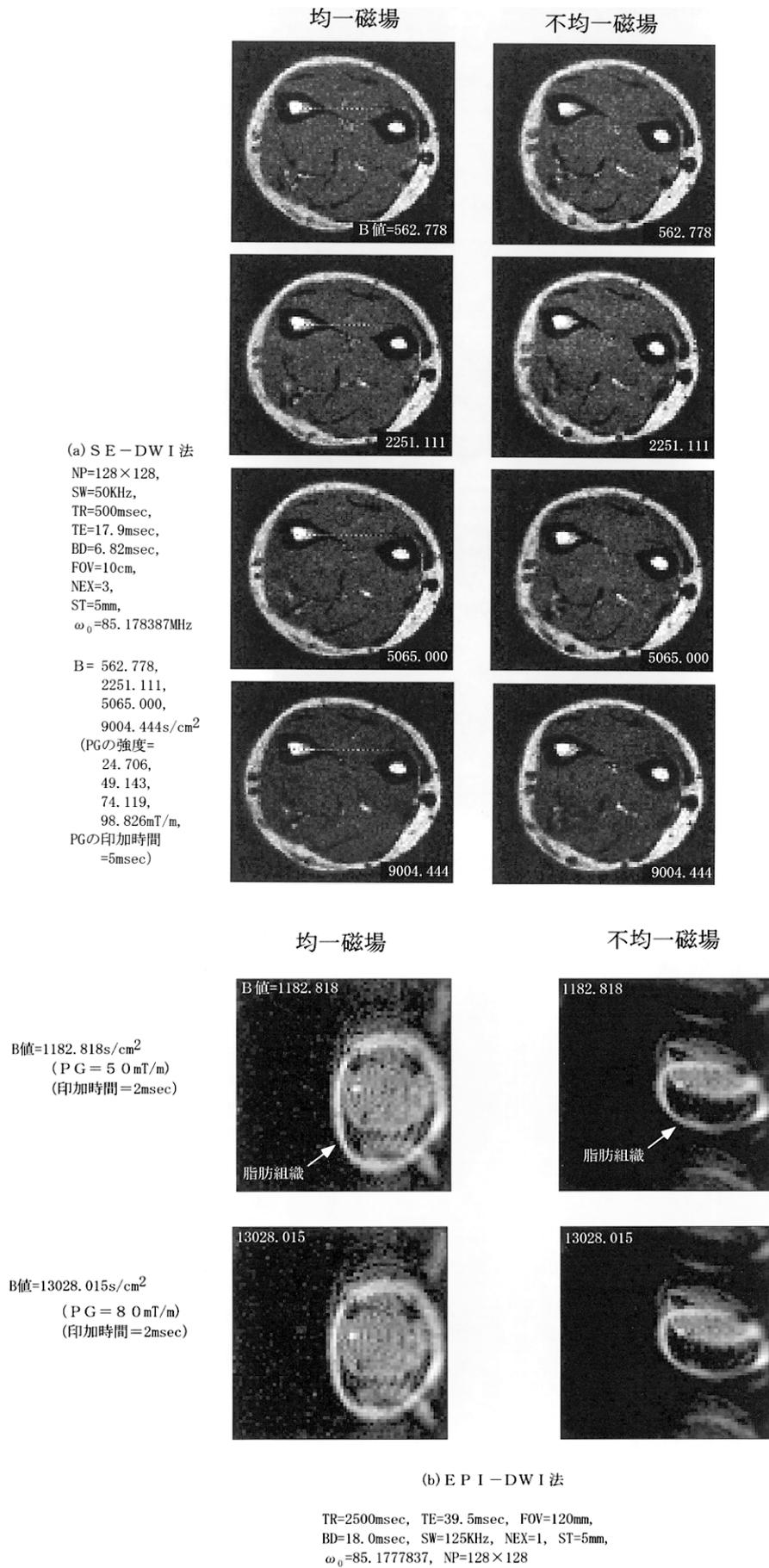


図17 健常者前腕の拡散強調画像 (Transverse像)

能とし、また、スピンの位相誤差が防げる。異なる緩和時間を有する種々の組織に対しても適用できる。これに対して、非SSFP状態で緩和時間が長い組織を画像化する場合、フリップ角を小さく設定せざるを得ない。このために、観測される信号のS/N比が低下する。従って、非SSFP状態ではフリップ角を増大し、残存する横磁化成分をスポイラーパルスにより消去する。

EPI法では、傾斜磁場を多数回繰り返すことから、その回数に比例した位相誤差を受ける。これが、EPI法が他のMRI画像化手法に比較して磁場不均一性の影響を大きく受ける原因である。EPI法に対して画像再構成を行う場合、この点を十分に考慮する必要がある。即ち、撮像する際には、磁場の均一性を向上させるか、空間的な磁場不均一性を測定し、この結果から、観測されるエコー信号の位相を補正する。

### (3) SE法の高速化

スピンエコーを観測するSE法では、エコー時間の短縮が困難であることを既に述べた。現在、スピンエコーを観測して画像化する手法には、提案中の手法も含めると、SE (Spin Echo), IR (Inversion Recovery), SR (Saturation Recovery), EPI, RARE (Rapid Acquisition with Relaxation Enhancement)<sup>14)</sup>, および類似のFSE (Fast Spin Echo) やTSE (Turbo-SE) およびHASTE (Half Fourier Single Shot Turbo Spin Echo), BURST<sup>15)</sup>, Ultra-fast Single Shot SE Imaging<sup>16)</sup>がある。SE, IR, SRを除く全ての手法に見られるように1回の選択励起の後に多数の180° RFパルスを印加して、個々の180° RFパルスにより発生するスピンエコーを観測したり、GRASE (Gradient Echo and Spin Echo)<sup>17)</sup>のようにSEとGREを一緒にすることで高速化を図っている。1回の励起で多数のスピンエコーを観測することで、TRが短縮され、従って、撮像の高速化が可能になる。EPI手法では約100msec、現在の最速の手法では、ほぼTE時間 (30~40msec) で2次元画像が撮像できる。

しかしながら、これらの手法の問題点は、短いT2緩和時間を持つ組織が正しく描出できない欠点がある。即ち、多数のスピンエコーを経時的に観測する最中にもT2緩和が生じ、観測する信号が減衰する。最初のエコー信号には、全ての組織成分が含まれているが、経時的に観測されるエコーには、順次、T2が短い成分が欠落する。このような撮像法では、正しく組織の緩和時間が描出されるSE法に比して、組織の緩和時間が長い成分が強調される傾向に有る。撮像時にはこの点に注意すべきである。

### 4.2 磁場不均一性の影響

原理的に検出感度が一定で元素の移動や拡散現象が無いと仮定すると、測定領域内の総元素量が不変となる。この条件では観測するエコー信号をフーリエ変換

したスペクトルの積分値は一定になると想定される。この条件で計算機シミュレーションを行った結果<sup>4)</sup>、磁場不均一性の低下に伴ってスペクトルの半値幅 (FWMH) が増大し、スペクトル強度が低下する。これが、検出系の感度が一定であったにもかかわらず図4 (b)、5、7などで磁場の不均一性に伴って画像濃度が低下する理由である。

EPIにおける幾何学的な歪 (図4 (c)、8、10など) の原因は、グラジエントエコーを観測する際の上記の特徴に加え、傾斜磁場の反転を繰り返すことによるスピンの位相誤差の累積に起因する。スピンエコーを観測する際に用いる180°反転パルスの主たる効果は位相補正にあり、EPIで用いる傾斜磁場の反転では、スピンの位相を180°反転できない。従って、EPIにおいて幾何学的な補正を除去するための方策としては、(i) 磁場の均一性の向上、(ii) スピンの位相を解析して補正する、(iii) 1回の励起で観測するグラジエントエコーの数を減らす (観測するエコー数を1に限定した場合がGRE法) の何れかの方策を採るべきであることを提案する。

複雑な構造を有し、測定中に体動がある生体組織の空間分解能を厳密に定量評価することは、一般には困難である。生体を画像化する場合、画像化手法に応じて、画像内にそれらの特徴が現れる。即ち、体動や組織特異性などの要因を除き、図10、11に示す空間分解能の変化が発現している。生体の画像を読影する際には、用いる画像化手法と撮像時の磁場不均一性に依りて、画像内で空間分解能が異なる。空間分解能は、磁場の均一性・安定性や傾斜磁場の特性、撮像中の生体の体動や拍動に大きく影響を受ける<sup>4)</sup>。また、図10 (b)、14に示すように、磁場の不均一性に影響を受けやすいグラジエントエコーを観測して画像化する手法は、空間分解能が低下する危険性があり、図12のように、測定領域内でも空間分解能が異なる場合もある。MRIにおいて高い空間分解能が要求される場合には、磁場の均一性・安定性が高い超電導マグネットと傾斜磁場を選択して傾斜磁場を増大するかエコー信号のサンプリング間隔を短く設定すべきである。撮像時には、体動や呼吸性の動きを防ぐことも必要になる。

## 5. むすび

MRIにおいて磁場の果たす役割は大きく、磁場強度は検出感度、MRS (核磁気共鳴スペクトロスコピ-) におけるスペクトル分解能を左右する。測定領域における磁場の時間的な安定性および空間的な均一性は非常に重要で、再構成したMRI画像のS/N比、組織間のコントラスト、空間分解能などに大きく影響を与える。本論文では、MRIの基本的な撮像法であるSE法、GRE法、EPI法における磁場不均一性の影響を解析し

た。臨床における画像診断において活用される多くのMRI手法は、これらの基本型の何れかに属する。緩和時間 ( $T_1$ ,  $T_2$ ) の画像化、拡散や灌流、血流の計測・画像化 (MRA)、Functional MRI ( $T_2^*$ 強調画像) においても、本論文で示した磁場不均一性の影響が発現する。

本論文の結果から、生体組織の幾何学的な構造や組織の持つ物理・化学的な特性 (緩和時間、拡散係数など) を高精度で画像化したい場合にはスピンエコーを観測すべきであることを提言する。他方、生体の生理機能、特に分子の局所的な空間移動 (血流や灌流)、組織の化学構造に変化を与える生理機能の画像化には、これらがMRI画像上で種々の変化 (画像濃度、空間分解能、化学シフトなど) として発現するグラジエントエコーを選択すべきである。

## 6. 謝 辞

本論文を執筆するにあたり、当研究室の堀田保子女史および田中八千代女史にはデータ整理など、多大な協力を得た。ここに感謝する。

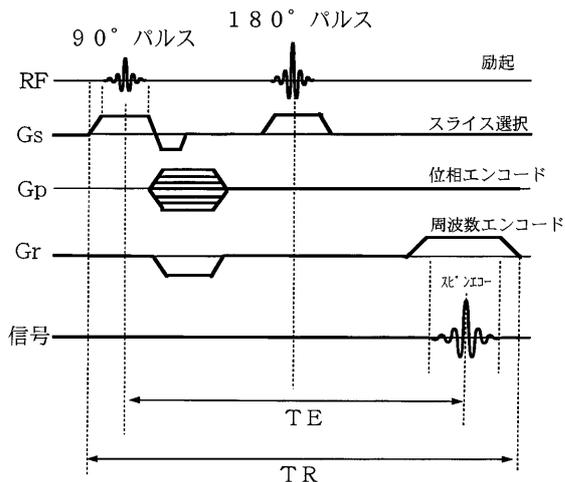
## 7. 発表年月日

発 表 :

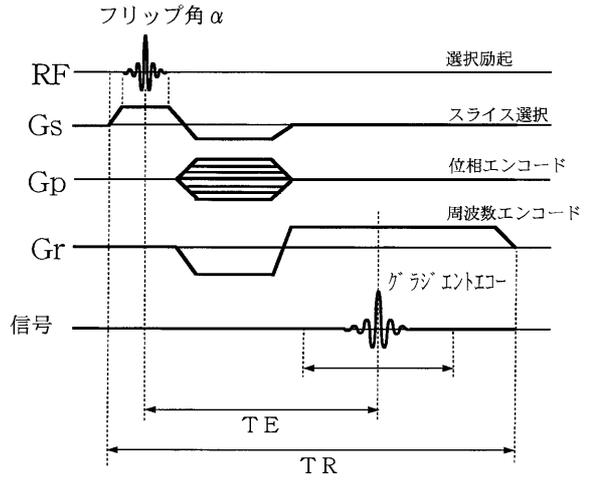
1998年9月10日 機械技術研究所研究発表会  
 1998年9月25日 日本磁気共鳴医学会第26回大会  
 原稿受付: 1999年3月12日

## 8. 参考文献

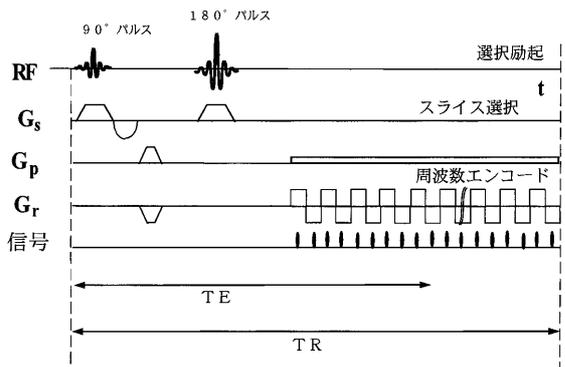
- 1) Mansfield P. and Morris P.G., NMR imaging in Biomedicine, Academic Press, New York, 1982.
- 2) Kaufman L. and Crooks L.E., Nuclear Magnetic Resonance Imaging in Medicine, Igaku-shoin, New York-Tokyo, 1981.
- 3) Farrar T.C. and Becker E.D. (赤坂一之, 井元敏明, 訳), パルス及びフーリエ変換NMR, 吉岡書店, 1976.
- 4) 本間一弘, "MRIにおける空間分解能の影響因子と分解能の定義", 機械技術研究所所報, 51-3 (1997) 11-19.
- 5) 本間一弘, 竹中榮一, "磁場強度のメカニズムとシステムの性能", INNERVISION, 5-1 (1990) 3-9.
- 6) Haase A., Frahm J., Matthaei D., et.al., "FLASH imaging, Rapid NMR imaging using low flip angle pulses", J.Magnetic Resonance, 67 (1986) 258-266.
- 7) 本間一弘, "Echo-Planar法 (超高速撮像法)", 画像診断, 11-1 (1991) 22-28.
- 8) Homma K., Chinzei K. and Hyodo K., "An MR Imaging Method for Measurement of Local Dynamics in Human Tissues", J.Robotics and Mechatronics, 6-1 (1994) 58-62.
- 9) 本間一弘, "高速イメージング-高速, 超高速MRI-", 日本磁気共鳴医学会雑誌, 9-S2 (1989) 89-92.
- 10) 関原謙介, 河野秀樹, "高速核磁気共鳴イメージング", 日本磁気共鳴医学会雑誌, 7-2 (1987) 3-24.
- 11) Hasse A., "Snapshot FLASH MRI-Application to  $T_1$ ,  $T_2$  and chemical shift imaging", Magnetic Resonance in Medicine, 13 (1990) 77-89.
- 12) bragan A. (富田和久, 田中基之, 訳), 核の磁性, 吉岡書店, 1989.
- 13) 竹中榮一, 遠藤真広, 田中 仁, 吉川宏起, 西村一雅, 山田 進, 栗原美貴子, 畑 雄一, 上者郁夫, 吉田 裕, "MRI装置の性能比較", NMR医学, 7-3 (1987) 61.
- 14) Henning J., Nauwerth A. and Friedburg H., "RARE imaging: A fast imaging method for clinical MR", Magnetic Resonance in Medicine, 3 (1986) 823-833.
- 15) Henning J., "Burst imaging on a clinical whole body system", Book of Abstract - Society of Magnetic Resonance in Medicine (1992) 101.
- 16) Homma K., "Basic studies on 2D ultra-fast Spin Echo imaging by single shot RF excitation", Seventh Scientific Meeting and Exhibition, International Society for Magnetic Resonance in Medicine, in press (1999).
- 17) Oshio K. and Feinberg DA., "GRASE (Gradient and Spin-echo) imaging: A novel fast MRI technique", Magnetic Resonance in Medicine, 20 (1991) 344.



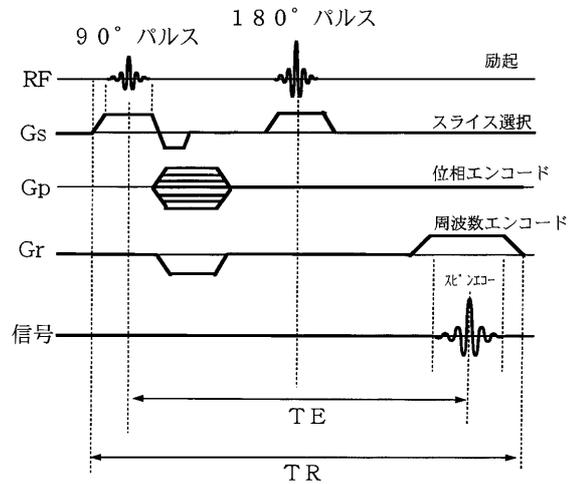
(a) S E 法



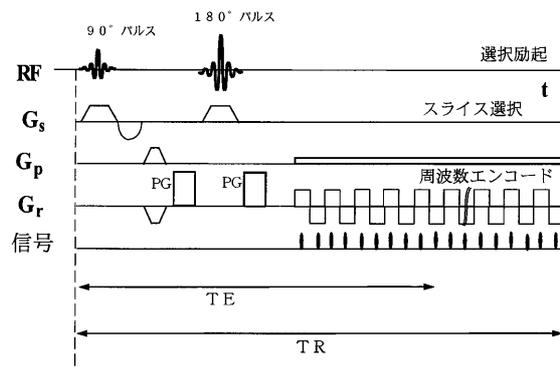
(b) G R E 法



(c) E P I 法



(a) S E 法



(e) E P I - D W I 法

図 A 1 画像化のためのパルスシーケンス

---

---

**研 究**

---

---

# 人工臓器の溶血試験に用いるマイクロカプセル模擬血液

丸山 修・山根 隆志・西田 正浩・筒井 達夫<sup>1</sup>・軸屋 智昭<sup>1</sup>

## Microcapsule Suspension for Hemolysis Evaluation of Artificial Organs

by Osamu MARUYAMA, Takashi YAMANE, Masahiro NISHIDA, Tatsuo TSUTSUI & Tomoaki JIKUYA

### Abstract

Evaluation of hemolytic properties is an important step in the development of circulatory artificial organs. Since the properties of animal blood, used in hemolysis test, have a high dependence on individuality, the results should be compared only in a relative manner. We have developed a microcapsule suspension for evaluation of the absolute hemolytic properties of centrifugal blood pumps. The microcapsule suspension was obtained by dispersing microcapsule into a water-soluble solution and can be used as a substitute for animal blood in hemolysis test. The microcapsule was a small particle containing leuco dye solution inside, and its diameter was from 5 to 100  $\mu$ m. After the microcapsules were destroyed, i. e., the destruction can be regarded as hemolysis, the leuco dye was extracted with n-hexane from the suspension and its concentration was measured by spectroscopy after being colored with HCl-ethanol solution. The destruction of microcapsules by a Potter type tissue grinder was observed at a low stroke number region and was compared with the destruction of rat blood. Hemolysis tests were carried out with 3 centrifugal pumps; i. e., a commercially available pump, a prototype pump, and a model DDI pump. The prototype pump, to investigate the magnetic suspension mechanism, and the DDI pump, for implantation, were developed in our laboratory. The commercial pump and DDI pump showed as small amount of hemolysis as that of the control case where microcapsule suspension was kept still in the air, whereas the prototype pump showed much larger hemolysis than the other two pumps. However, the result of the prototype pump using microcapsule suspension showed similar tendency to that using bovine blood. Therefore, hemolysis tests of centrifugal pumps which shows high hemolysis level by using the microcapsule suspension are expected to provide results similar to tests using animal blood.

**Key Words:** Hemolysis, Artificial organ, Microcapsule

## 1. 緒 言

循環器系人工臓器の溶血特性を評価することは、人工心臓や人工肺の開発において、抗血栓性評価と同様に重要である。溶血試験に用いる動物血には、種差や個体差に基づくバラツキがあるため、同じ動物血で同時に試験を行う必要がある。一般的には、牛血や羊血を使って同時試験におけるポンプ間の溶血成績を相対評価しているが<sup>1)2)5)</sup>、再現性のある絶対評価は期待できない。また、血液間のバラツキを調べるのであれば、この一連の実験を多数行う必要がある。そのため、大

量の血液が必要であり、数多くの動物実験が予想される。我々は、マイクロカプセルを赤血球と見立てて、これを水溶液に分散した模擬血液を調製し、カプセルの破壊量を溶血量として定量評価する方法を利用した。この手法であれば、工学的に同一特性を持つ試験液を調製することが可能であり、動物実験の低減、再現性あるポンプの絶対評価を行うことができる。玉川らは、マイクロカプセル模擬血液を使って衝撃波による血球破壊挙動をシミュレートすることはできた<sup>6)7)</sup>。しかしながら、これまでにマイクロカプセルを用いた溶血試験では、十分な結果が得られていない。その理由は、これまでの模擬血液の平均粒径が、動物血の赤血球の直径に近づけるように設計されており、カプセ

<sup>1</sup> 筑波大学臨床医学系

ル膜材を弱くすることに限界があったためと思われる。また、ロイコ染料などの反応性色素は、工業的には広く顕色剤と呼ばれているビスフェノールAなどのような弱酸のフェノール性プロトン供与体によって発色している。しかし、フェノール化合物は弱酸であるために、色素を十分に発色するには限界がある。そこで、本研究では、マイクロカプセルの作製方法である界面重合法において、技術的に最も大きくできる限界の直径でマイクロカプセル化を行い、また、ロイコ染料を強酸で発色する手法を導入し、模擬血液を用いた溶血試験の基礎的な特性について検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1 マイクロカプセルスラリーの調製

反応性色素であるロイコ染料を109.7mg/mLとなるようにイソプロピルナフタレンに溶解して染料溶液を調製した。この染料溶液と、カプセル膜材となるポリウレタンを用いて、界面重合法によって、直径が5 - 100  $\mu\text{m}$ のマイクロカプセルスラリーを調製した。

### 2.2 マイクロカプセル懸濁液(模擬血液)

マイクロカプセルの分散安定性の向上と懸濁液の粘度を増加させるために、エチレングリコールを38.8w/v%となるように、また電磁血流量計で流量を測定する目的で塩化ナトリウムを1.8w/v%となるように両者を水に溶解した。このエチレングリコール・塩化ナトリウム水溶液に、上記のマイクロカプセルスラリーを同体積添加して、最終濃度エチレングリコール19.4w/v%、塩化ナトリウム0.9w/v%の水溶液に分散するマイクロカプセル懸濁液を模擬血液として調製した。この模擬血液の外観を肉眼で観察した。マイクロカプセルの性状は、透過型光学顕微鏡で観察した。また、ピクノメーターを用いて、20  $^{\circ}\text{C}$ における模擬血液の比重を測定した。さらに、毛細管に模擬血液を充填し、次いで遠心分離機で遠心することにより、模擬血液中のマイクロカプセル体積分率(ヘマトクリット(Ht)値)を測定した。また、フックスローゼンタール式血球計算盤を使用して、模擬血液単位体積中のマイクロカプセルの個数を数えることにより、模擬血液中のカプセル濃度として算出した。

### 2.3 回転粘度計による粘度測定

模擬血液、および10週齢のWhister strainラット血液の室温における粘度を、回転粘度計を用いて各回転数におけるみかけ粘度として測定した。ラット血液1 mLに対して、防腐剤としてACD水溶液150  $\mu\text{L}$ と抗凝固剤としてヘパリンナトリウム6単位を添加した。模擬血液およびラット血液それぞれ1 mLを粘度計にセットし、標準型のローター(コーン角度1  $^{\circ}34'$ )を使用して、5、10、20、50、100rpmと順次回転数を上げて測定し、次いで逆に100、50、20、10、5rpmと回

転数を順次下げて測定した。模擬血液は1回の実験で、ラット血液は3回の繰り返し実験によって結果を得た。

### 2.4 ポッター型ホモジナイザーによる溶血特性

模擬血液の破壊特性を定量的に知るために、大きな外力を与えての試験を試みた。組織破碎用に用いるポッター型ホモジナイザー(クリアランス100  $\mu\text{m}$ )を使って、模擬血液およびラット血液の溶血特性を調べた。ラット血液には、前項と同じ条件でACD液とヘパリンナトリウムを添加した。模擬血液10mLまたはラット血液2.5mLをホモジナイザーにセットし、氷水中で1、2、5、10、20ストロークで破碎して、各ストローク数において、順次前者は1 mLずつ、後者は200  $\mu\text{L}$ ずつ採取した。試験した模擬血液中の遊離染料濃度および遊離ヘモグロビン濃度は、次のように定量した。模擬血液では、各ストロークにおける破碎した模擬血液1 mLに、n-ヘキサン1 mLを添加して混ぜ、遊離染料をn-ヘキサン中に抽出させた。この混合液から1 mLを分取し、遠心分離機を用いて、10,000rpm(7,609  $\times g$ )で1分間遠心し、上清であるn-ヘキサンを採取した。このn-ヘキサン500  $\mu\text{L}$ と、最終濃度0.1mol/Lとなるように塩酸を含んだエタノール溶液500  $\mu\text{L}$ を混ぜ合わせて発色した。染料濃度は、分光光度計を用いて、蒸留水を対照とし、520nmにおける吸光度を測定し、検量線より定量した。ラット血液では、各ストロークにおける血液を4、4,000rpm(1,217  $\times g$ )で15分遠心分離して、血漿200  $\mu\text{L}$ を採取し、シアンメトヘモグロビン法に基づく市販のキットを利用して血漿を発色し、540nmにおける吸光度を測定し、検量線より定量した。模擬血液は1回の実験で、ラット血液は3回の繰り返し実験によって結果を得た。

### 2.5 遠心ポンプの溶血特性の比較

市販ポンプであるメドトロニックバイオメディカス社製バイオポンプBP-80(図1(a))、当研究所で試作した軸受け試験用に試作したプロトタイプ遠心ポンプ(図1(b))および体内埋込み用に開発したダイレクトドライブ型遠心ポンプ(モデルDD1<sup>®</sup>、図1(c))の3種類のポンプについて、模擬血液及び牛血を用いて4時間までの回路実験を行った。牛血に添加したACD液とヘパリンナトリウムの量は、ラット血液の場合と同じである。図2に、回路実験による溶血試験装置を示す。模擬血液を用いた実験では、バイオポンプとプロトタイプポンプのみの使用であったが、使用した模擬血液量は500mL、流量は5 L/min、発生圧力はバイオポンプの時で100mmHg、プロトタイプの時で78mmHgに設定した。牛血を用いた実験では、すべてのポンプにおいて、血液量2 L、流量5 L/min、発生圧力100mmHgに設定した。サンプリング時間は、0、10、30分、1、2、3、4時間で行った。染料濃度および



(a) バイオポンプ (b) プロトタイプポンプ (c) DD1ポンプ

図1 溶血試験に使用した遠心血液ポンプ



図2 遠心血液ポンプの溶血試験

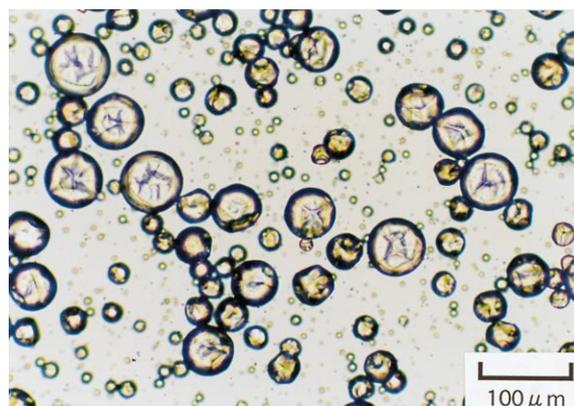


図3 マイクロカプセルの顕微鏡写真

ヘモグロビン濃度は、前項と同じ手法で定量した。

### 3. 実験結果

#### 3.1 模擬血液の基本的特性

模擬血液の外観は白色懸濁液であり、比重は1.024であった。静置するとカプセルが凝集して上部に浮いた状態になった。これは、カプセルの大部分の体積を占める内部のロイコ染料溶液の比重が0.975であり、これに対してエチレングリコール水溶液の比重は1.049であることから、カプセル集合体が主として溶液上部に凝集すると考えられる。しかし、カプセル同志は接着しておらず、攪拌することで再分散した。図3にマイクロカプセルの顕微鏡写真を示す。この結果から、マイクロカプセルの直径は5 μm以下の小さなものから100 μm程度の大きなものまで広く観察された。また、顕微鏡下でマイクロカプセルをマイクロシリンジの針で押すと、カプセルはへこみ、弾性を示すことがわかった。表1にマイクロカプセル及び模擬血液の基本物性を要約した。

#### 3.2 模擬血液の粘度

模擬血液の回転粘度計による粘度特性の結果を、図4に示した。ラット血液では、ずり速度の上昇とともに粘度が減少し、ずり速度を下げると再び粘度は上昇

することから、非ニュートン特性を示すことがわかった。これに対して模擬血液は、ずり速度を上昇させても粘度の低下はラット血液ほど顕著ではなく、ニュートン流体の特性に近い結果を示した。また、ずり速度を下げると粘度は元の値よりも上昇した。試験後の模擬血液が凝固していることが確認されたことから、粘度の増加はカプセルの凝集によるものと考えている。模擬血液が非ニュートン流体の特性を示さなかったのは、主たる原因としてHt値に相当する模擬血液中のマイクロカプセル体積分率が17.5%であり、これに対して動物血のHt値は一般に約40%と高いため、模擬血液の流動特性は分散液であるエチレングリコール・塩化ナトリウム水溶液の性質に依存したためと思われる。模擬血液の粘度は、高ずり速度領域において、ラット血液と比較して、1.5倍以内の差であることがわかった。

#### 3.3 ロイコ染料の光学特性

使用したロイコ染料は酸との反応で赤色に発色した。吸収スペクトルの結果(図5)から520nmに最大吸収波長を持ち、この波長での検量線(図6)では約 $1 \times 10^{-4}$  mol/Lの濃度まで、Beerの法則に従って直線性を示し、その相関係数は $R^2=0.9981$ であった。この感度は、血液の1日の自然溶血量に相当する値である0.8%のカプセル破壊も有意に検出できる数値であった。

表 1 マイクロカプセルおよび模擬血液の基本特性

マイクロカプセルの特性	カプセル膜材	ポリウレタン
	染料	ロイコ染料 (分子量 400)
	染料を溶かす溶媒	イソプロピルナフタレン
	染料溶液濃度	109.7mg/mL
	カプセル膜の性質	弾性
	直径	5-100 $\mu$ m
	カプセルスラリーの調製方法	界面重合法
模擬血液の特性	外観	白色懸濁液
	比重	1.024
	数分で上部にカプセルが凝集する	
模擬血液の組成	マイクロカプセル濃度 (体積分率(ヘマトクリット値))	$5.3 \times 10^6$ capsules/mL (17.5v/v%)
	エチレングリコール	19.4w/v%
	塩化ナトリウム	0.9w/v%
	水	残り

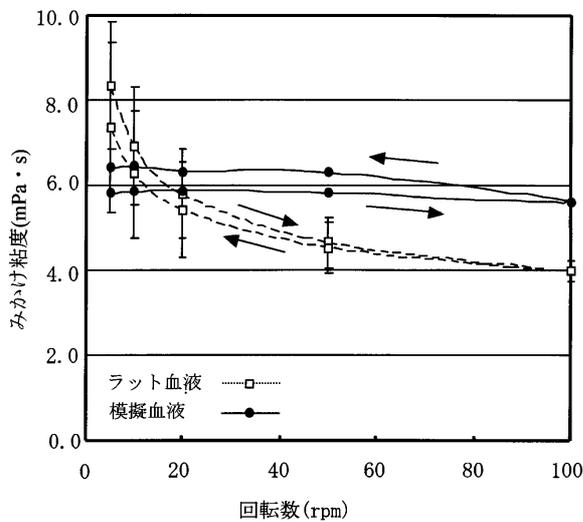


図 4 回転粘度計による模擬血液とラット血液のみかけ粘度

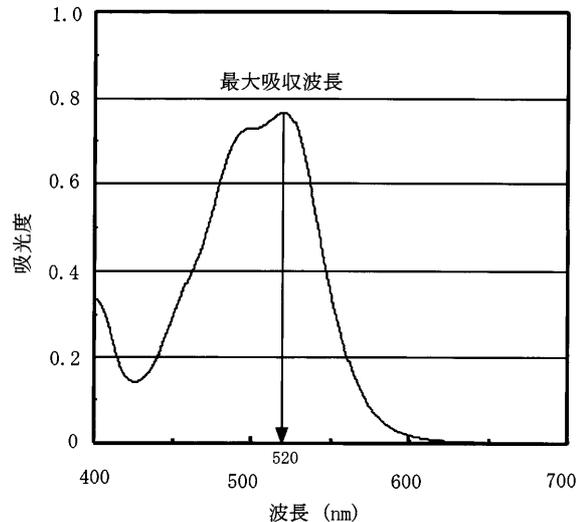


図 5 ロイコ染料の吸収スペクトル

### 3.4 模擬血液のホモジナイザーによる溶血特性

組織破砕用ホモジナイザーによるラット血液と模擬血液の溶血特性については、ラット血液では20ストロークまでほぼ直線的に増加したのに対して(図7)、模擬血液では低ストローク域で急激にロイコ染料濃度が上昇し、その後徐々にゆるやかになる結果を示した。また、模擬血液ではストローク数の増加に伴ってカプセル数の減少が確認できた(図8)。従って、本実験で使用したマイクロカプセル中のロイコ染料は、浸透

圧の作用でカプセル膜を通過したのではなく、カプセルの破壊によって遊離したものであることが確認された。模擬血液の方がラット血液と比較して低ストローク域で破壊したのは、用いたホモジナイザーのクリアランスが約100 $\mu$ mであるため、粒径の大きい模擬血液の方が、より多くすりつぶされたためであると考えている。本実験での模擬血液は、ホモジナイザーを使った溶血試験において、ストローク数の増加に伴って、マイクロカプセルが破壊することから、この試験法で

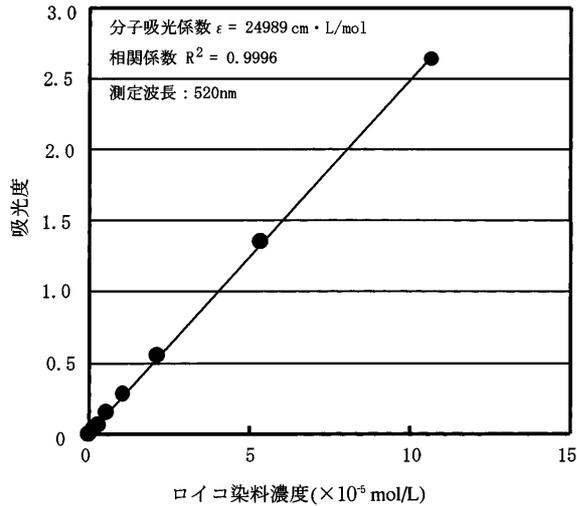


図6 ロイコ染料の検量線

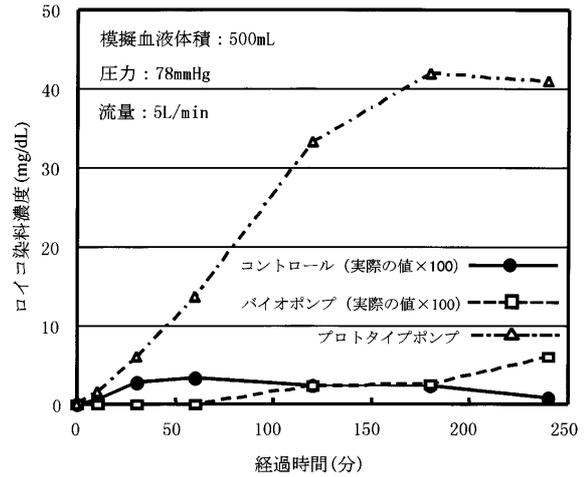


図9 模擬血液を用いた遠心ポンプの溶血特性

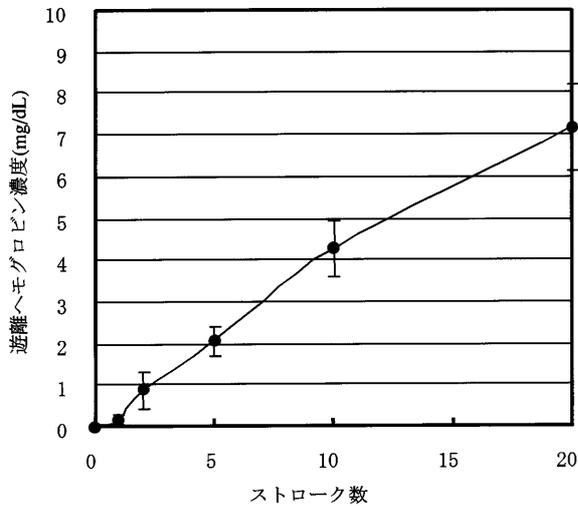


図7 ホモジナイザーによるラット血液の溶血特性

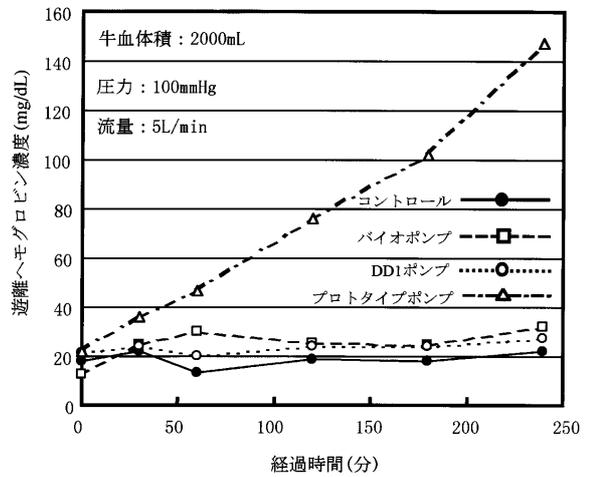


図10 牛血を用いた遠心ポンプの溶血特性

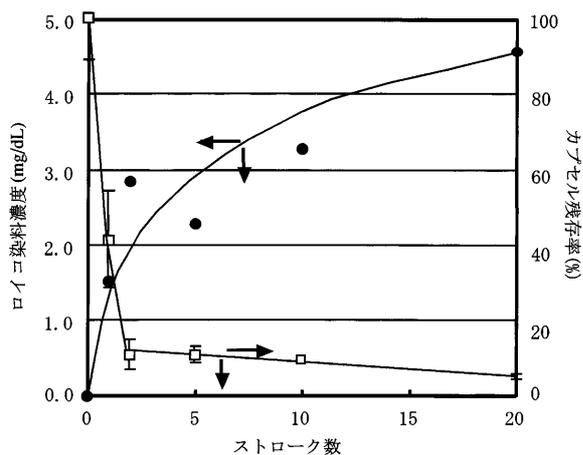


図8 ホモジナイザーによる模擬血液の溶血特性とカプセル残存率

は静強度破壊ではなく、疲労破壊試験を観察したことになる。

### 3.5 模擬血液の遠心血液ポンプによる溶血特性

模擬血液を用いた遠心ポンプの溶血試験結果を図9に示す。バイオポンプによる結果では、コントロール(ポンプ試験を行わずに静置したもの)とほぼ同じで、発色を確認することはできなかったが、プロトタイプポンプは、時間の経過に伴って染料濃度の上昇が見られ、模擬血液中のマイクロカプセルが破壊されたことを示唆し、バイオポンプと明らかな溶血試験の違いを検出できた。同様の溶血試験を牛血を用いて行った結果、バイオポンプおよびDD1ポンプでは、コントロールと同様に、遊離ヘモグロビン濃度は顕著に上昇しなかったが、プロトタイプポンプについては、時間経過に伴ってヘモグロビン濃度は増加した(図10)。牛血を用いたプロトタイプポンプにおける試験結果は、模擬血液を用いた結果と同様の傾向を示しており、模擬血液を用いた遠心ポンプの溶血試験が、動物血による溶血試験の傾向と類似の結果を示すことが明らかとな

った。

#### 4. 考 察

我々が作製した模擬血液であるマイクロカプセル懸濁液を利用することで、循環器系人工臓器の溶血試験法において、これまでの動物血を用いた相対評価から絶対評価への可能性を見いだした。これまでに提案されていた模擬血液<sup>6),7)</sup>と比較して、本報告での模擬血液を用いることで、遠心ポンプによる溶血試験に差が得られたのは、マイクロカプセルの直径を大きく設定したことと、発色方法を弱酸による方法から強酸を用いる方法に改良した結果であると考えている。マイクロカプセル化の際に最も直径を大きくするように調製した結果、実際の動物血の赤血球より最大直径が10倍以上大きいマイクロカプセルが得られた。カプセル膜材、重合方法は従来の方と同じであるが、カプセル膜厚に対するカプセル直径比が大きいため、従来のマイクロカプセルと比較して小さな外力で、すなわちプロトタイプ遠心ポンプレベルの外力でカプセル破壊が生じたものと考えている。ロイコ染料の検出感度(図6)は、強酸による発色で、従来のフェノール化合物による感度の200倍以上の感度に相当する。キットによる遊離ヘモグロビンの発色感度と比較すると、重量濃度に換算した感度は、ロイコ染料の方が約100倍高い結果を示し、低濃度での検出に期待できる。しかしながら、本報告で述べた溶血試験方法には大きな問題点が残る。平均粒径を大きくしたことによって、遠心血液ポンプ間の溶血試験の差を得ることができたが、ホモジナイザーによる溶血特性に、ラット血液と比較して、マイクロカプセルの直径が原因と考えられる相違が得られている。このことは、遠心ポンプ内での溶血過程を考える時に、赤血球と同じ破壊挙動が生じていない可能性が考えられる。今後の研究は、マイクロカプセルを赤血球のサイズに近づけることにより、ポンプ表面粗さによる溶血の影響も見ることができるようになる必要がある。将来は、遠心ポンプ内の剪断応力分布の数値解析<sup>9),10)</sup>と併せて、より詳細な溶血過程の解明にも応用できる。しかし、広範囲な粒度分布を持つこの模擬血液では、粒径の大きいカプセルから順次選択的に破壊が進むことが考えられ、定量化が不均一になることが予想される。この対策としては、粒度分布の分散度を小さくするように、マイクロカプセル化の製造方法を改善するか、マイクロカプセルスラリーのろ過処理によって、粒度を均一にする必要があると思われる。また、現在の最も改善すべき点は、バイオポンプなどの市販遠心ポンプやDD1ポンプのような低溶血を示すポンプでは、模擬血液を使って溶血を検出できるレベルに達していないということである。プロトタイプ遠心ポンプでは、溶血量が多かったために、

コントロールとの違いが明瞭であったが、バイオポンプでは、コントロールとの有意な差が得られなかった。模擬血液によるDD1ポンプの溶血試験は今回行わなかったが、牛血による試験では、バイオポンプと同等の成績であった。従って、我々が体内埋込み用として開発している遠心ポンプの溶血成績を模擬血液で行うためには、マイクロカプセルの膜材をさらに弱く設計したり、発色色素を蛍光色素等に変更しさらなる高感度を得る必要があり、これらが今後の研究課題である。

#### 5. 結 語

我々は、ロイコ染料を内部に含み、膜材がポリウレタンからなるマイクロカプセルを、エチレングリコール及び塩化ナトリウムを含む水溶液に分散し、溶血試験の絶対評価に期待できる模擬血液を調製した。現状ではマイクロカプセルの最大直径が動物血の赤血球と比較して10倍以上大きいものを使用し、またロイコ染料の発色方法を塩酸で発色することにより、この模擬血液を使ったプロトタイプ遠心ポンプの溶血試験結果が、牛血を用いた溶血試験結果と同様の傾向を得ることができた。最後に、マイクロカプセルスラリーを作製していただいたタナベ技研株式会社、動物血溶血試験にご協力いただいたテルモ株式会社に謝意を表す。

#### 発表年月日

- 1997年9月10日 第5回国際ロータリー血液ポンプ学会
- 1997年9月25日 機械技術研究所研究発表会
- 1997年12月7日 第19回バイオマテリアル学会大会
- 1998年3月6日 第26回人工心臓と補助循環懇話会
- 1998年4月9日 機械技術研究所研究発表会
- 1998年6月15日 日本機械学会第9回バイオエンジニアリング学術講演会・夏期セミナー
- 1998年7月26日 第6回国際ロータリー血液ポンプ学会
- 1998年9月10日 機械技術研究所研究発表会
- 1998年10月23日 第36回日本人工臓器学会大会
- 1999年2月26日 第27回人工心臓と補助循環懇話会  
A Preliminary Study of Microcapsule Suspension for Hemolysis Evaluation of Artificial Organs, Artificial Organs, 1999: Vol.23, No.3: 274-279

原稿受付: 1999年3月18日

### 参考文献

- 1 ) Mizuguchi K., Damm G., Aber GA, Bozeman RJ, Bacak JW, Svejksky. PA, Orime Y., Ohara Y., Naito K., Tasai K., Makinouchi K., Takatani S., Nosé Y., Noon GP, DeBakey ME. Does hematocrit affect in vitro hemolysis test results ? Preliminary study with Baylor/NASA prototype axial flow pump. *Artif Organs* 1994 ; 18 : 650-6.
- 2 ) Yeleswarapu KK, Antaki JF, Kameneva MV, Rajagopal KR. A mathematical Model for shear-induced hemolysis. *Artif Organs* 1995 ; 19 : 576-82.
- 3 ) Shimono T., Makinouchi K., Nosé Y. Total erythrocyte destruction time : The new index for the hemolytic performance of rotary blood pumps. *Artif Organs* 1995 ; 19 : 571-5.
- 4 ) Tayama E., Nakazawa T., Takami Y., Makinouchi K., Ohtsubo S., Ohashi Y., Andrade AJ.P, Glueck J., Mueller J., Nosé Y. The hemolysis test of Gyro C1E3 pump in pulsatile mode. *Artif Organs* 1997 ; 21 : 675-9.
- 5 ) Kobayashi S., Nitta S., Yambe T., Sonobe T., Naganuma S., Hashimoto H. Hemolysis Test of disposable type vibrating flow pump. *Artif Organs* 1997 ; 21 : 691-3.
- 6 ) Shiroyama T., Akamatsu T., Fukumasu H. Improvement of performance of nutating centrifugal pump and simulation of its hemolysis test. *Jpn. J. Artif. Organs* 1989 ; 18 : 551-4.
- 7 ) Tamagawa M., Yoshida K., Akamatsu T. Effects of shock waves on living tissue cell (Red blood cell) (Damage of red blood cell and mathematical analysis of deformation model using spherical shell filled with liquid) *Trans. Jpn. Soc. Mech. Engin.* 1996 ; 62 (594) : 613-9.
- 8 ) Yamane T., Nishida M., Kijima T., Maekawa J. New mechanism to reduce the size of monopivot magnetic suspension blood pump : Direct drive mechanism. *Artif Organs* 1997 ; 21 : 620-24.
- 9 ) Bludszweit C. Model for a general mechanical blood damage prediction. *Artif Organs* 1995 ; 19 : 583-9.
- 10 ) Yamane T. Asztalos B., Nishida M., Masuzawa T., Takiura K., Taenaka Y., Konishi Y., Miyazoe Y., Ito K. Flow visualization as a complementary tool to hemolysis testing in the development of centrifugal pumps. *Artif Organs* 1998 ; 22:375-80.

---

 研 究
 

---

# ダイナミック部分を持つヒト頭部光学ファントムの作製

今井 大吾・谷川 ゆかり・山田 幸生

## Fabrication of realistic human brain phantoms including dynamic part

by Daigo IMAI, Yukari TANIKAWA & Yukio YAMADA

### Abstract

Optical tomography will be a new modality of non-invasive diagnosis in medicine and biology, and is expected to image the distribution of optical properties in human bodies by measuring transmitted light at skin surfaces. In the process of developing optical tomographic imaging systems for diagnosis of disease and study of brain functions of human heads, we need realistic optical phantoms which anatomically and optically simulate human heads with complicated and multi-layered structures. In this study, we have fabricated optical phantoms based on MRI images of a human head. The phantoms had a multi-layered structure with different optical properties at five layers; i.e., skin, skull, cerebrospinal fluid layer, gray matter and white matter. Also the phantoms which were mainly made of solid resin had dynamic parts to simulate the temporal variation of physiological functions in brain. The optical properties of the liquid circulating through the dynamic part can be changed to simulate the change in oxygenation states. The material of the skin layer was a soft rubber in order to achieve a good contact with optical fibers. The fabricated optical head phantom was checked by X-ray CT to measure the size and cavity in the phantom and to see whether air bubbles were trapped or not.

**Key Words:** Dynamic phantom, Layered Structure, Laser prototyping

### 1. はじめに

現在、生体の無侵襲計測技術として、X線CT、MRI、PET、超音波診断などの技術が開発され、医療診断や治療に威力を発揮している。これらの機器はそれぞれ生体に関する固有の特性値を無侵襲に測定することにより、生体内部の情報を与えてくれるものである。例えばX線CTは生体の密度に応じてX線が吸収されることを利用しているため、得られる画像は生体内の密度分布を表している。MRIでは標的とした物質の原子核と高周波磁場との干渉により発生する信号を処理しているため、得られる画像は標的とした物質、例えば水素原子の密度分布を表している。これらの情報に加え、生体内の局所において組織や細胞が活動しているかどうか、血液が輸送されているかどうかを判断する指標に組織や血液の酸素化度がある。酸素化度はPETやf-MRI (functional MRI) 等により低侵襲で測定は可能であるが、PETは、極めて高価であり、患者に造影

剤として放射性同位元素を注入する必要があり、人体に有害で患者への負担が大きい。またMRIの場合には巨大なガントリーやシールドルームが必要であるなど、ベッドサイドでの長時間のモニタリングは不可能である。一方、この酸素化度は、近赤外光を用いることにより簡便に、長時間の測定ができることが知られている。

生体内の酸素化度を分光的に測定するためには、酸素濃度の変化に応じて吸光スペクトルが変化する物質が必要である。そのような分光学的酸素濃度指示物質としてヘモグロビン、ミオグロビンなどがある。ヘモグロビンは血液中に存在する酸素担体であり、酸素飽和度によりスペクトルが変化する。可視域から赤外域においての生体物質の吸収スペクトルは、波長が1  $\mu\text{m}$ 以上では水による吸収が強くなり、一方、700nm以下では血液中のヘモグロビンによる吸収が強くなる。その間700nmから1  $\mu\text{m}$ の近赤外と呼ばれる領域では生体は光の吸収が弱く、比較的光を透過しやすい<sup>1),2)</sup>。また骨はこの波長域に吸収を持たないので、頭部の計測においても近赤外光を用いれば頭骨による

吸収は無視できる程度になる。これが分光学的酸素濃度測定に近赤外光を用いる最大の理由である。この技術を応用し、近赤外光を用いて生体内の酸素濃度分布の断層画像を作り出す装置が光断層イメージングシステム（光CT）である。

医用画像という観点からみると、近赤外線を用いる断層像装置は他の医療画像診断装置（X線CT、MRI、PETなど）に比べ、原理上3つの非常に重要な利点が注目される。まず第1は機能画像の可能性である。光CTは、X線CT等からは形態情報が得られるのに対し、前述の酸素の情報というかたちで生体の活性である機能的情報を測定できる。第2の利点は連続測定である。近赤外線は生体に対して害がないとされているために、長時間のモニタが可能である。第3は装置の小型化である。他の測定装置より比較的簡単な装置であり、小型化が可能であるのでベッドサイドで使え、大型の画像装置まで運ぶことのできない患者の測定もできる。したがって、疾病の早期発見のみならず、生体機能の解明や予防診断といった分野への応用も期待できる。

しかしながら、光CTの実現にあたっての問題点は画像再構成法である。X線は、空気中、生体中にかかわらず直線状に進むのに対し、生体に照射された光は多重散乱を繰り返しながら吸収されて外部に出てくるので、射出光に含まれる生体の情報は照射点と射出点を結ぶ直線上だけでなく、あるひろがった領域の寄与を含むものである。したがってX線CTで既に確立された方法や画像再構成アルゴリズムをそのまま光CTに適用しても解像度が極端に悪化したり、間違った画像を提供することにもなりかねない。光CTにより正しい酸素化度の画像を描き出すためには、光が生体内を散乱吸収を受けながらどのように伝播していくかという基本的な現象を解明し、画像再構成のための新しいアルゴリズムを開発しなければならない。

このアルゴリズムの開発にあたり、生体内の光の散乱特性を調べ、さらに開発したアルゴリズムの検証を行うための基礎実験が時間分解計測<sup>3)~6)</sup>や強度変調計測<sup>7)</sup>など様々な手法を用いて行われている。これらの測定結果と光の伝播特性をシミュレートするモンテカルロ法<sup>8)~10)</sup>、有限要素法<sup>11)~13)</sup>等による数値計算結果とを比較し、相補的にアルゴリズム開発<sup>14)</sup>が行われている。

その際の測定に用いる試料として、実際の生体は光学特性値が一様な部分は小さく、形状も複雑で柔らかいため固定が困難な上に経時変化が大きいため、数値シミュレーション等との比較が困難である。そこで、光学特性を均質、あるいは任意の不均質性を与えられ、容器に入れたり加工することによって任意の形状を与えることのできる、『光学的生体模擬試料（光学ファントム）』が用いられている。

従来このファントムには、平行平板<sup>5)~8)</sup>、あるいは円柱<sup>11),13)</sup>等の非常に簡単な形状のものが用いられていた。しかし、実際の生体は複雑な形状を持ち、光学特性も複雑な分布を持っているため、開発したアルゴリズムが実際の生体に適用可能か検証する必要がある。

本研究では、生体の中でも特に複雑な構造を持ち、光学特性についても非常に複雑な分布のあるヒト頭部に着目し、光造形技術を応用してヒト頭部の複雑な多層構造を忠実に再現した光学ファントムの作製法について報告する<sup>15),16)</sup>。また、生体内の生理学的な変動を模擬するため、ファントム内に生理学的変動を与えるための空洞と外部との接続用の導管をつけた光学ファントムを作製し、光学特性値を任意に変化させるための液体循環システムをとりつけ、任意の生理学的変動を与えられる動的な光学ファントムの作製についても報告する。

## 2. 光学ファントムの作製

### 2.1 ファントムの構造

ヒト頭部は非常に複雑な構造を持っており、その全てを模擬することは、非常に困難である。そこで、光学的にほぼ同一とみなされる組織は、ファントムにおいても同一とすることにより、ファントムの単純化を行った。その結果、頭部の表面より、皮膚層（Skin）、頭蓋骨層（Skull）、頭蓋骨と脳表の間の透明な脳脊髄液層（CSF = Cerebrospinal Fluid）、続いて脳表側の色が濃い部位を灰白質層（Gray Matter）、脳内部の色の薄い部位を白質層（White Matter）とする、5層構造の光学ファントムを作製することにした。図1に光学的に単純化したファントムの構造を示す。

生体内の光学特性値はその血流の変化などで刻々と変化していることが知られており、このような変化を検出することが光CT開発の目的でもある。そこで、ファントム内に光学特性値を時間的に、任意に変化させることのできる、いわゆるダイナミックな部分を作製した。このダイナミック部分は図2に示すように、灰白質層の一部に開けた空洞である。この空洞に外部

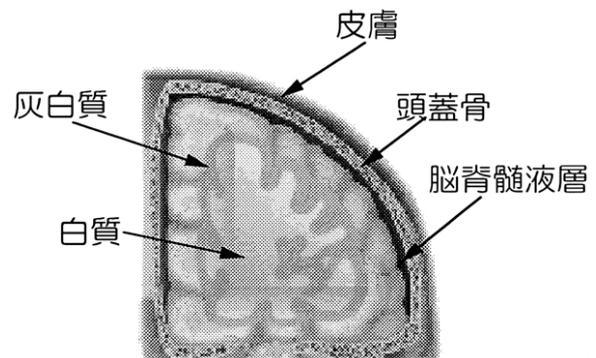


図1 ファントムの基本構造

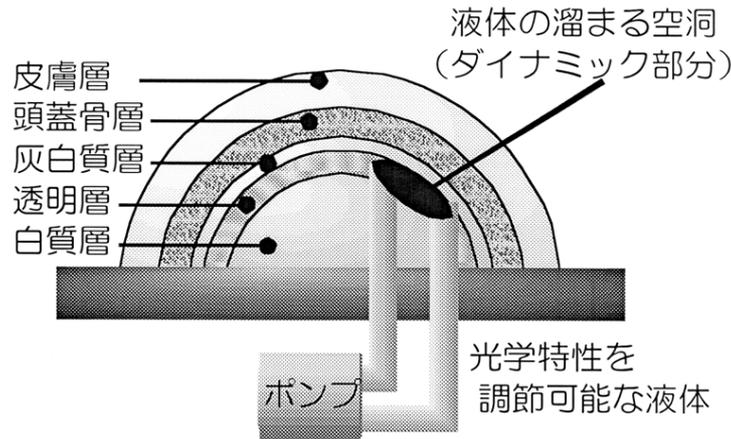


図2 ダイナミック部分を持つファントム概念図

とつながる導管を通し、ポンプで液体を循環させる。循環させる液体の光学特性値を変化させることにより、ダイナミック部分の光学特性値を制御する。

作製するファントムの大きさは、光CTの対象として考えている新生児頭部を想定し、縦横100mm、高さ50mm程度で、眼球上部より頭頂部までとした。ファントム作製のためのMRI画像は、新生児のデータがないため、大人の頭部断層画像を用いた。大人と新生児の頭部は光学的には特に散乱特性について大きな差があるが、光学特性値の分布、つまり構造的には大きな差はないとされている。そこで、ファントムの形状については大人のMRI断層画像データを新生児程度の大きさに縮小して用いた。

## 2.2 原型データの作製

ヒト頭部、特に脳の白質・灰白質等は非常に細かく入り組んだ複雑な構造を持っているため、原型を機械加工で作製するのは非常に困難である。そこで光造形装置を用いて原型を作製した。

光造形の際に用いる光硬化樹脂にはアクリル系やエポキシ系の樹脂があり、直接光硬化樹脂でファントムを作製できる可能性はあるが、層状構造を持たせるのは光造形装置の構造上不可能である。また、1層目については作製できる可能性はあるが、光学特性値を生体に合わせるために粒子・色素を混入させる必要がある。しかし、それが造形用レーザー光を散乱・吸収し、光造形が困難になる可能性が大である。また、光造形でメス型を作製し、光学特性値を合わせた樹脂を型抜きする方法もあるが、光硬化樹脂とエポキシ樹脂の離型性が悪く、形抜きは不可能であった。そこで、光造形装置で原型を作製し、そこからゴム製のメス型を作り、ファントムを注型する事にした。

光造形を行う立体の等高線データ(スタックデータ)の作製にはMRIの人体頭部断層画像を用いた。これは原画像が、スタックデータとして利用可能な断層画像であること、また、X線CTでは困難とされている、

軟組織、特に脳の白質と灰白質の境界の分離が可能である、等の点からMRI画像を用いた。使用したのは骨格以外の生体組織の各部位が判別可能なT1強調画像である。また、画像処理には、3次元医療画像ソフト NIH Image (ver.1.59ppc)<sup>17)</sup>を用いた。

スタックデータ作製にあたり、MRI画像より各層の輪郭を抽出する。使用したT1強調画像は各画素の輝度に応じて、皮膚層、頭蓋骨層、灰白質層、白質層に判別する事ができる(図3)。しかし使用したMRI画像からは、脳髄液層の判別が不可能であった。散乱、吸収を持たない脳髄液層は、他の層とは異なり、光の散乱が生じないため、ヒト頭部における光の伝播挙動に大きな影響を与えるとされている。したがって、ファントム作製時にこの層を除外することは、脳内の光伝播を調べる上で不適当である。そこで脳髄液層のスタックデータは、脳表面、すなわち、灰白質層のデータより作成した。具体的には、灰白質層の輪郭データを体軸と顔に直交するアキシャル面について2画素分膨張させたものを脳髄液層の輪郭データとした。

次に分離した各層のデータを光造形装置で適切に造形できるように処理を行う。使用したMRI画像は断層画像面内の空間分解能については十分であるが、画像間の間隔は0.8mmである。光造形に適切と思われる画像間隔が0.1mm~0.2mmであるのに対し、MRI画像のそれはかなり大きい。そこで、各層のMRI画像と画像の間に、新たに3枚の画像を補間によって作製した。

## 2.3 原型の作製

光造形のためのデータは、コンピュータの3次元データを水平方向に薄くスライスして、等高線データ(スタックデータ)として作成される。光造形装置は、このデータに沿って、透明プレート上の光硬化性樹脂に、レーザー光を照射して1層ごとに硬化させ、積層造形することによって立体モデルを作製する。本研究で使用した光造形装置(SLP-5000 デンケンエンジニアリング社製)は、造形を行う層のみを樹脂層に浸し、

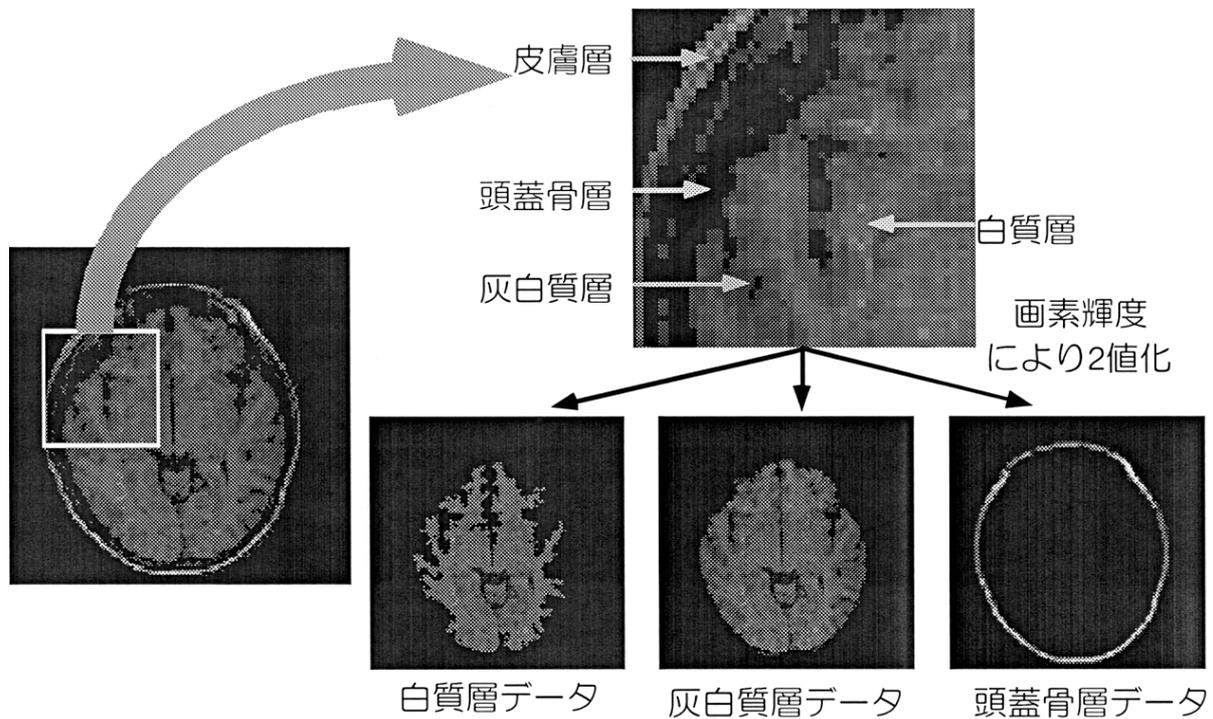


図3 ヒト頭部のMRI断層画像（各層の判別と分離）

下からレーザーを照射して1層を硬化させ、造形ベースを引き上げ、次の層の造形を行う、引き上げタイプ（図4）である。光硬化性樹脂（DF-803N、デンケンエンジニアリング社製）は、可視光線で硬化するアクリル系樹脂であり、造形用のブルーレーザーの照射によって硬化する。図5に各層のファントム原型を示す。特に白質の原型（図5(a)）において、脳内の複雑に入り組んだ形状が忠実に再現できていることがわかる。

#### 2.4 ファントムのメス型作製

ファントム原型からの型取りの際、その形状が非常に複雑で、入り組んだ構造を持っているところから、メス型の素材としては、伸びが大きく、引張り強さ、引き裂き強さの高いものが要求される。これらの条件を満たすものとして、型取り用RTVゴムKE1404（信越シリコン社）を採用した。このRTVゴムは主剤・硬化剤を混合することによって室温で硬化する縮合タイプのものである。

メス型作製の手順は以下のようなものである。はじめに図6のように光造形装置で作製した原型に、型抜きによる破損を防ぐため、離型剤を塗布する。次に原型を型取り用容器内に固定し、主剤と硬化剤を十分に混合させたRTVゴムを流し込む。内部の気泡の除去と原型の形状を忠実に型取りできるように、真空を引き、その後硬化させた。作製したメス型を図7に示す。

#### 2.5 エポキシ樹脂によるファントムの作製

##### 2.5.1 光学ファントムの素材

光学ファントムの大きな利点は生体組織と異なり、光学特性が均質、あるいは任意の不均質性が与えられ

る点にある。このファントムは大別して液体のものと固体のファントムとに分けられる。液体ファントムは、ベースとなる透明溶媒中に生体と類似した散乱特性をもつ、ラテックス粒子やイントラリピッド等の散乱体と、吸収材として色素等を混入させることによって任意の光学特性値を容易に与えられるという大きな利点をもつ。しかし、容器が必要不可欠であるところから、容器壁面における反射という大きな問題があり、また、複雑な形状を持たせるのは困難である。一方、固体ファントムは任意の形状に形抜きや加工が可能であり、容器を必要としないため、容器壁面での反射の問題がない。また、寒天やゼラチン等の水に煮溶かして冷やし固めるタイプの物や、樹脂主剤に硬化剤を混入して重合させるタイプのものをファントムのベースとして選択すれば、これらの液中に散乱粒子や吸収色素を硬化前に混入させることによって任意の光学特性値を与えることが可能である。これらの利点を生かし、固体でファントム本体を作製し、ダイナミックな部分に光学特性値を調整した液体を流す方式を選択した。次にファントムのベースとなる透明体の選択にあたって、寒天・ゼラチン等は実際の生体に近い屈折率を持ち、型を用いることによって任意の形状に作成可能であるという利点はあるが、軟らかいために機械加工が困難であり、空気中では乾燥し、水中で使用すると混入させた散乱体・吸収体が濃度差で溶出する等の問題があり、長時間測定ができず、試料の保存が困難である。一方、ポリエステルやエポキシ等の樹脂は型を用いることによって任意の形状が与えられ、機械加工も容易

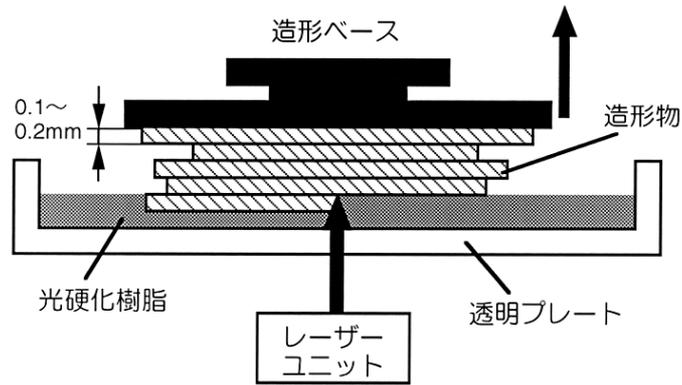


図4 光造形装置の基本構造

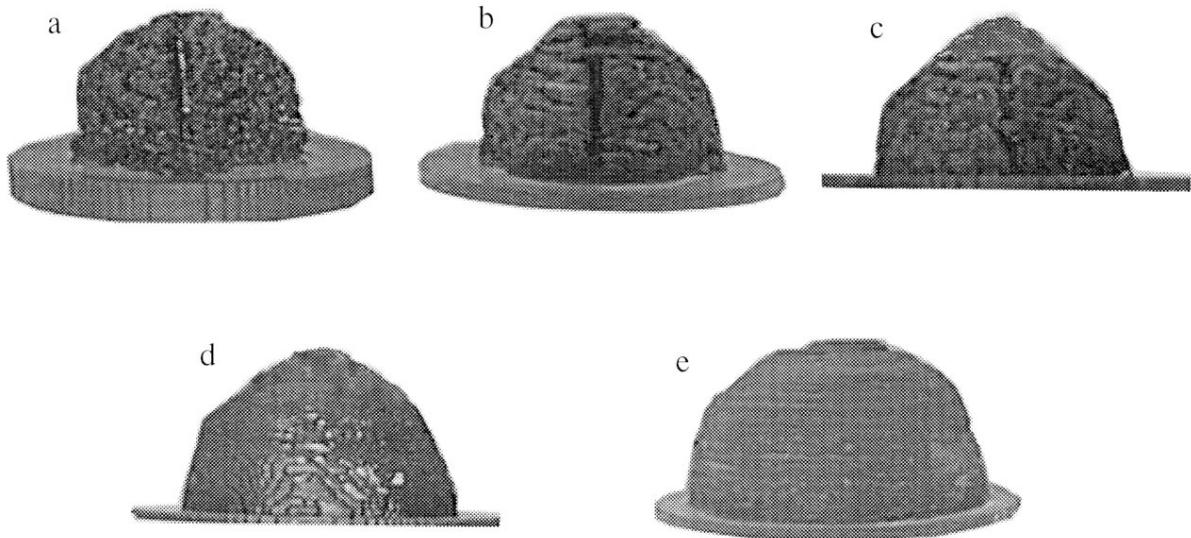


図5 ファントムの原型

a . 白質    b . 灰白質    c . 脳脊髄液層    d . 頭蓋骨    e . 皮膚

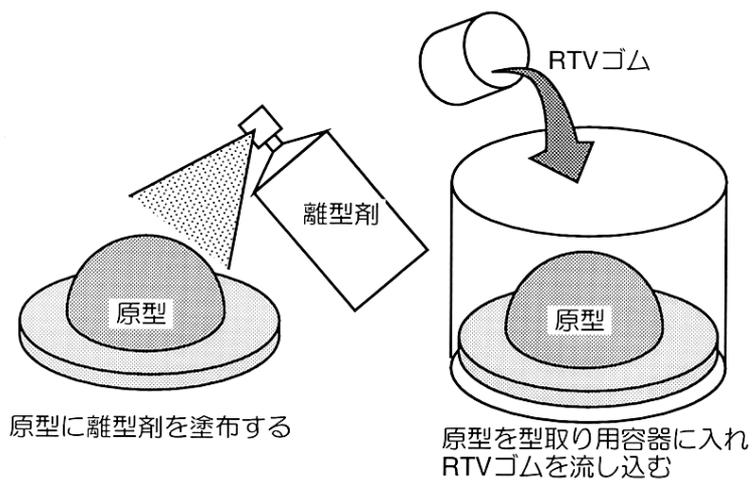


図6 メス型の作製

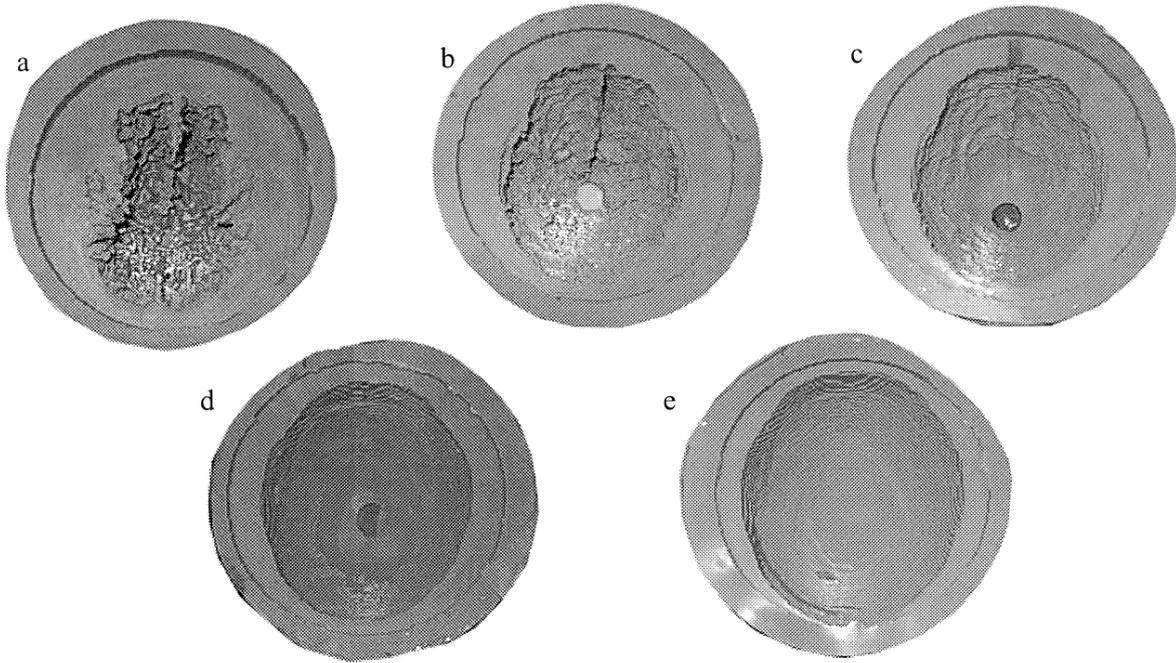


図7 メス型  
 a . 白質    b . 灰白質    c . 脳脊髄液層    d . 頭蓋骨    e . 皮膚

である。また、硬化後の経年変化が小さいため、長期間にわたっての測定が可能である。しかし、ポリエステル樹脂については、硬化の際に収縮が起こるため、ある程度大きい試料を作製したり、層状に重ねると収縮による亀裂が入ってしまう。一方エポキシ樹脂は重合の際に温度が上がりすぎると黄色に変色するという問題点はあるが、この温度をコントロールすることにより、変色を押さえることは可能である。これらの利点から、ファントムのベースとなる透明体としてエポキシ樹脂を用いた。本研究では特に硬化後の収縮の小さいエポキシ樹脂（ビューラー社製 EPO-THIN LOW VISCOSITY EPOXY RESIN）を用いた。

樹脂に混入させる散乱体として、酸化チタン微粒子（TiO<sub>2</sub>）を用いた。酸化チタン微粒子は形状が必ずしも球形でなく、試料の散乱係数の理論計算との一致は見られないため、実際の散乱係数を測定する必要がある。しかし、屈折率が高く、混入量が少量で済み、表面処理や置換等の必要もないため、取り扱いが容易である。以上の点から散乱体として酸化チタン微粒子を選択した。本研究で使用した酸化チタン微粒子（KA-30K、チタン工業（株）製）はルチル型で比重は4.2、測定による平均粒径は0.275 μm、屈折率は2.71である。また、吸収係数は無視できるほど小さいことがわかっている。この粒子の混入量を調整することにより、任意の散乱係数が得られる。エポキシ樹脂に混入させる際には、分散性の問題から重合前の主剤に混入させた。

吸収体には粉末状の緑色色素を使用した。この色素

は、本研究で使用する800nm前後の光の波長において、非常に強い吸収を示す物質である。また、この色素は他の溶媒に溶かすことなくエポキシ樹脂硬化剤に溶解可能であり、取り扱いが容易であった。

### 2.5.2 ファントムの積層注型

ファントムを積層注型させるためには各層の位置合わせが必要である。そこで本研究では原型作製段階で各層の原型全てに共通土台を設け、形抜きの際、この共通土台を用いて位置合わせを行った。

注型は最内層にあたる白質層から行った。白質の光学特性値になるよう調整したエポキシ樹脂の主剤および硬化剤を混合し、真空に引いて内部の気泡を除去する。エポキシ樹脂重合時の発熱を抑えるため十分に冷却した白質のメス型に、樹脂を流し込み、冷凍庫等を用いて冷却させながら徐々に硬化させる。硬化後メス型から取り出して白質のファントムが完成する。次に白質のファントムに、灰白質層を被せる。灰白質層のメス型に、白質層のファントムをはめ込み、白質のファントムと、灰白質のメス型との間にできた隙間に、灰白質層の光学特性値に調整したエポキシ樹脂を流し込む。しかし、この方法で注型を行った場合、気泡が混入してしまうことが避けられない。そこで、本研究では、真空注型を行った。方法としては図8に示すように白質の型に灰白質用のエポキシ樹脂を注入するための穴をあげチューブを取り付け、灰白質の型にセットする。次に型を型取り用容器にいれ、RTVゴムを流し込んでシーリングする。チューブの一端に真空ポンプを接続し、もう一端には灰白質用に光学特性値を合

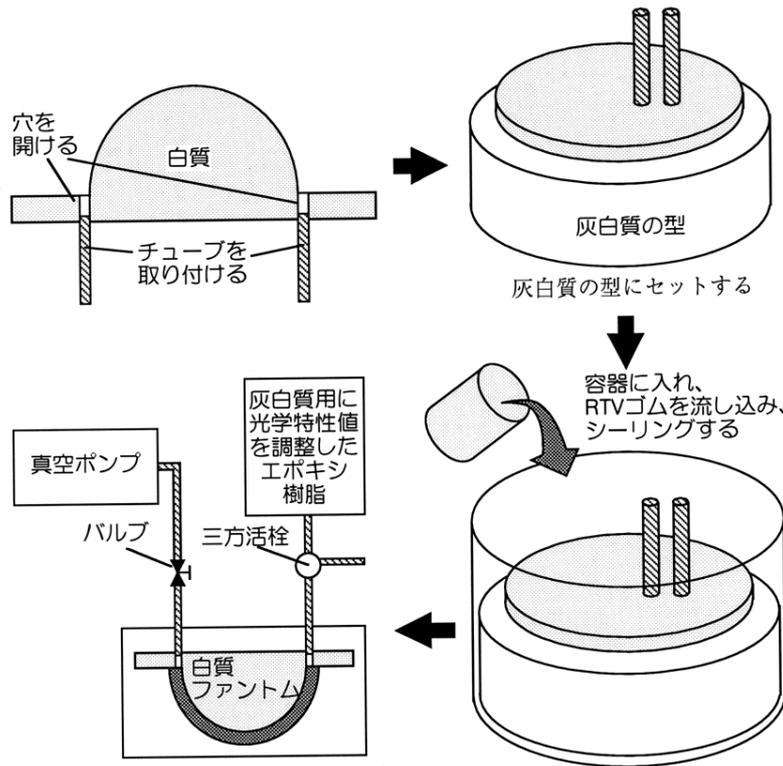


図8 真空注型

わせ、混合させたエポキシ樹脂を入れ、真空を引ながら樹脂を流し込む。この方法を脳脊髄液層、頭蓋骨層、皮膚層にも適用することにより樹脂内の気泡をほとんど除去できるようになった。

最外層である皮膚層は、当初エポキシ樹脂で作製していた。しかし、測定を行う場合、この層の部分に光ファイバーを取り付けると、光ファイバーとファントムの間隙を生じてしまう(図9)。一方生体の場合には皮膚組織は軟組織なので、光ファイバーとファントムとの間に隙間を生じない。そこで、ファントムの皮膚層には柔らかい、シリコンゴムを使用した。このシリコンゴムは、無色透明のもので、光学特性値の調整のため、分散体として酸化チタン微粒子、吸収体として緑色色素をクロロホルムに溶かしたものを混入させた。

### 2.5.3 ダイナミック部分の作製

光学特性値を任意に変化させることの可能なダイナミックな部分を、本研究では灰白質層に設けた。作製方法を図10に示す。灰白質まで積層注型の終了したファントムに機械加工により空洞部を作製し、ファントム底面から外部接続用の穴をあけ、チューブを取り付ける。次にこのファントムを再度灰白質の型に入れ、チューブから加熱して液状にしたパラフィンを流し込み、そのまま冷却してパラフィンを硬化させる。パラフィン硬化後、型から取り出し、脳脊髄液層、頭蓋骨層と積層する。積層注型終了後、ファントムを加熱し、

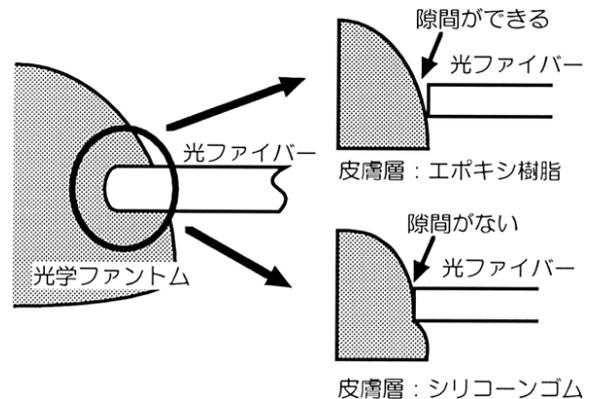


図9 皮膚層の素材

パラフィンを溶かし、チューブを通して出すことにより、ダイナミック部分となる空洞が作製される。

完成したファントムは気泡や欠陥をさけるため、真空注型ほか、様々な方法を用いて注意深く作製されているが、実際に気泡等が入っていないかどうかを確認する必要がある。また、ダイナミック部分の正確な位置の検出も必要であるところから、X線CTによる非破壊検査を行った。

完成したファントムに液体循環回路(図11)をとりつける。この循環回路の液体Aおよび液体Bにそれぞれ光学特性値の異なる液体を入れ、混合比を変えて循環させることにより、ダイナミック部分に流れる液体の光学特性値を調整することができる。液体A、B

には散乱体として、粒径 $0.65\ \mu\text{m}$ のラテックス粒子 (IMMUTEX G0601) を、吸収材として、鶯色インク (中外化成 RECORDER INK Greenish Brown) を混入させた水を用いた。

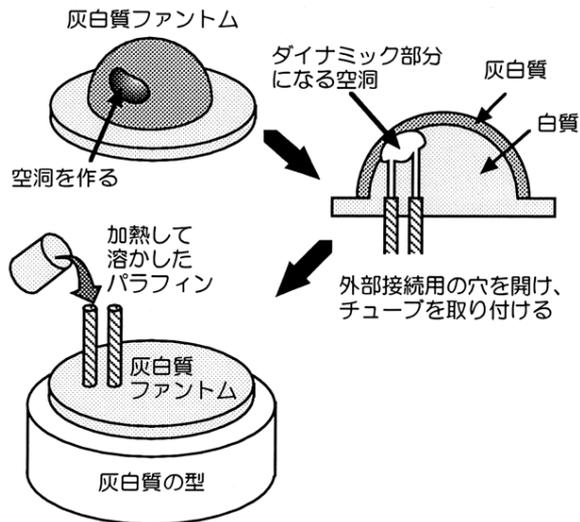


図10 ダイナミック部分の作製

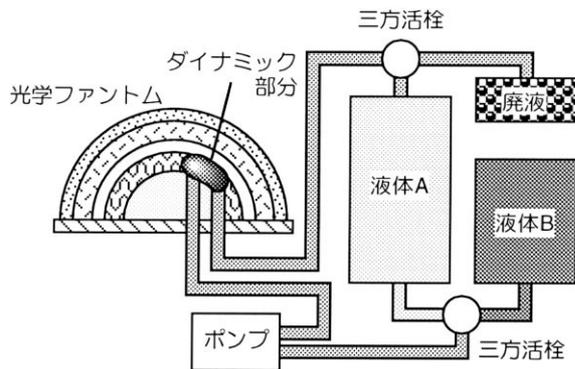


図11 液体循環回路

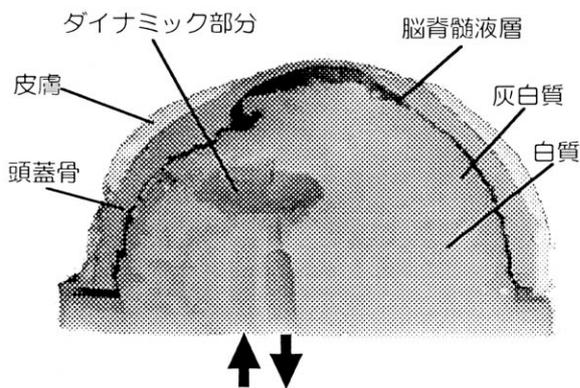


図12 完成したダイナミックファントム断面図

### 3. ファントム作製結果とその評価

図12に完成したファントム断面図を示す。この図を見るとわかるように、頭皮、頭蓋骨、脳脊髄液、灰白質、白質の5層構造が忠実に再現されていることがわかる。また、光学特性値を変化させることのできるダイナミック部分も作製に成功しており、導管と接続されている。

表1は作製したファントムの光学特性値を示している。これらの光学特性値は、各層のエポキシ樹脂を作製する際に、光学特性値を測定するためのサンプルを同時に作製しておき、積分球とモンテカルロ法シミュレーションによる光学特性値決定法<sup>18)</sup>で測定した結果である。実際の人体の光学特性値は、これをin vivoで計測した結果がなかったため、この表の光学特性値は、麻酔下のブタ頭部を用いたin vivoでの光学測定結果および文献値<sup>19)</sup>を反映したものである。しかし、これらの結果では皮膚層の等価散乱係数は $1.5\text{mm}^{-1}$ 程度になる予定であったが、シリコン樹脂と酸化チタン微粒子の分散性の問題があり、予定の約半分の値になってしまった。その結果、予定通りの等価散乱係数であればかなり小さいと考えていたシリコン樹脂とエポキシ樹脂の屈折率差による光伝播への影響を考慮しなければならない。今後の検討が必要である。

図13にX線CTによるファントムの断層画像を示す。X線CTでは密度の違いによる断層像が得られるため、皮膚層に使用したシリコン樹脂と内部に使用したエポキシ樹脂との違いが顕著に見られている。また、図中の黒い部分がダイナミック部分および導管である。これらの断層像から、ダイナミック部分の形状、大きさが測定可能である。ファントム内に気泡が残留している場合には、気泡が黒い点として画像に表示される。この画像にはダイナミック部分と導管以外には黒い部分が見られないところから、真空注型法により測定に影響を与える大きさをもつ気泡は除去できたと考えられる。

表1 各層の光学特性値

	等価散乱係数 $\mu_s'(\text{mm}^{-1})$	吸収係数 $\mu_a(\text{mm}^{-1})$
白質	5.9	0.009
灰白質	2.8	0.019
脳脊髄液層	0.0	0.003
頭蓋骨	1.1	0.025
皮膚	0.73	0.030

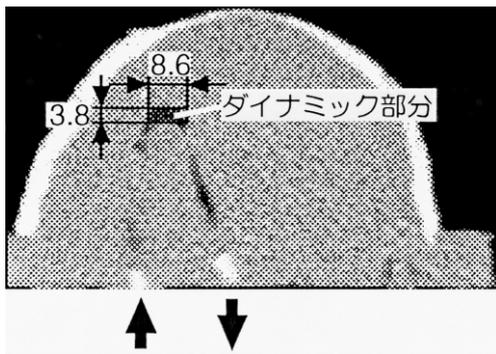


図13 X線CTによるファントム断面図

#### 4. 結論

以上のように、光CT実験等に使用可能なヒト頭部を忠実に模擬した光学ファントムの作製に成功した。さらにこのファントム内部に空洞と外部接続用導管を設け、光学特性値を任意に変えることのできる液体循環回路を取り付けることにより、ダイナミックな部分を持つ光学ファントムの作製に成功した。

今後、本研究で開発したファントム作製法を用い、様々な場所にダイナミック部分をもつファントムや、透明な脳脊髄液層の大きさの異なるファントムを作り、時間分解測定を行い、ダイナミック部分が測定光強度にどのような影響を与えるか、また、透明層により、時間分解波形がどのように変化するか調べる予定である。

原稿受付：1999年6月1日

#### 参考文献

- 1) 田村守：光を用いた生体計測－光CTへの道，Oplus E，No.90-101，1987-1988．
- 2) 田村守：続光を用いた生体計測－光CTへの道，Oplus E，No.126-142，1990-1991．
- 3) B. Chance, J. S. Leigh, H. Miyake, D. S. Smith, S. Nioka, R. Greenfeld, M. Finander, K. Kaufman, W. Levy, M. Young, P. Cohen, H. Yoshioka, and R. Boretsky, "Comparison of time resolved and unresolved measurements of deoxyhemoglobin in brain", Proc. Natl. Acad. Sci. USA, Vol. 85, pp. 4971-4975, 1988.
- 4) D. T. Delpy, M. Cope, P. van der Zee, S. R. Arridge, S. Wray, and J. Wyatt, "Estimation of optical pathlength through tissue from direct CT time of flight measurement", Phys. Med. Biol., Vol. 33, No. 12, pp. 1433-1442, 1988.
- 5) M. S. Patterson, B. Chance and B. C. Wilson, "Time resolved reflectance and transmittance for the noninvasive measurement of tissue optical properties", Appl. Opt., Vol. 28, pp. 2331-2336, 1989.
- 6) 高橋ゆかり，山田幸生，長谷川裕夫：生体内光伝播の高速時間分解計測，計測自動制御学会論文集，29巻，pp. 884-887，1993．
- 7) S. R. Arridge, M. Cope, and D. T. Delpy, "The theoretical basis for the determination of optical pathlengths in tissue: temporal and frequency analysis", Phys. Med. Biol., Vol. 37, No. 7, pp. 1531-1560, 1992.
- 8) Y. Yamada, Y. Hasegawa, and Y. Yamashita, "Simulation of fan-beam-type optical computed-tomography imaging of strongly scattering and weakly absorbing media", Appl. Opt., Vol. 32, pp. 4808-4814, 1993.
- 9) 強い散乱体内を透過するパルス光の時間分解計測に関する研究，日本機械学会論文集（B編）60巻579号，pp. 121-126，1994．
- 10) E. Okada, M. Firbank, M. Schweiger, S. R. Arridge, J. C. Hebden, M. Hiraoka, and D. T. Delpy, "Experimental measurements on phantoms and Monte Carlo simulation to evaluate the effect of CT of inhomogeneity on optical pathlength", SPIE Proc., Vol. 2389, pp. 174-181, 1995.
- 11) Y. Yamada and Y. Hasegawa, "Time-dependent FEM analysis of photon migration in random media", SPIE Proc., Vol. 1888, pp. 167-178, 1993.
- 12) Y. Takahashi, Y. Yamada, S. G. Proskurin, S. Mizuno and H. Maki, "Measurement and FEM calculation of light pulse propagation through cylindrical homogeneous and inhomogeneous phantoms", SPIE Proceedings, Vol. 2626, pp. 103-112, 1995.
- 13) S. G. Proskurin, Y. Tanikawa, I. W. Kwee, and Y. Yamada, "Diffuse Transmittance Measurements of Homogeneous and Inhomogeneous Cylindrical Phantoms. Comparison with FEM Calculations", SPIE Proc., Vol. 2925, pp. 2-11, 1996.
- 14) I. Oda, H. Eda, Y. Tsunazawa, M. Takada, Y. Yamada, G. Nishimura, and M. Tamura, "Optical tomography by the temporally extrapolated absorbance method", Appl. Opt., Vol. 35, pp. 169-175, 1996.
- 15) Y. Tanikawa-Takahashi, D. Imai, S. Mizuno, H. Maki, O. Shinozaki, and Y. Yamada, "Design and fabrication of a solid simplified head phantom", SPIE Proc., Vol. 2979, pp. 429-436, 1997.
- 16) Y. Tanikawa-Takahashi, D. Imai, H. Maki, S. Takahashi, and Y. Yamada, "Fabrication of dynamic optical head phantoms from an MRI head model", SPIE Proc., Vol. 3194, pp. 512-521, 1997.

- 17) 高倉公朋・土肥健純・増谷佳孝・伊関洋・遠藤昌  
孝：外科手術のためのNIH Image，中山書店，  
1996．
- 18) 水野祥，谷川ゆかり，山田幸生，牧博司：光学的  
ファントムの作製と積分球による光学定数測定，  
日本機械学会論文集（C編）63巻607号，pp.889-  
894，1997．
- 19) S. R. Arridge and M. Schweiger, "Photon-  
measurement density fun CT ions. Part 2: Finite-  
element-method calculations", Appl. Opt., Vol. 34,  
No. 34, 1995.

## 学会発表文献紹介

以下に紹介するものは、機械技術研究所における研究成果としての論文中、学会、協会の機関誌、論文集誌に1998年に発表した研究論文で、原論文はもとより、展望、綜説、解説をも含んだものである。

1. **Wind energy development and landscape in Japan**  
H. MATSUMIYA  
Wind Energy and Landscape, A. A. BALKEMA (1998-5), pp.17~28  
日本における風力開発が進展する中で、海外では問題となりつつある景観問題について現状を分析。近・現代における近代文明の取り入れの過程で古い文化が破棄され、無秩序な開発が行われてきたが、本来、日本文化は固有の美観を育ててきたことを指摘。風車導入を機会に、景観まで考慮に入れた開発が期待されることを論じた。
2. **円柱回りの流れの三次元数値シミュレーション (第2報、三次元流れの可視化)**  
松宮 輝, 木枝 香織 (エーイーエス), 谷口 伸行<sup>1</sup>, 小林 敏雄<sup>1</sup> (東京大学)  
日本機械学会論文集 (B編) 64-622 (1998-6), pp.1725~1731  
レイノルズ数1000において、73×73×81の格子により円柱回りの流れの三次元解析 (3次精度風上微分) を行った。数値シミュレーションの結果は、流れ場の三次元性を示し、カルマン周波数以外の周波数が形成されることが示された。
3. **平成9年における重要なエネルギー関係事項：風力**  
松宮 輝  
日本エネルギー学会誌 77-855 (1998-7), pp.668~671  
平成9年における重要なエネルギー関係事項の風力エネルギー関連についてまとめた。
4. **IEA Wind Energy Annual report 1997, III-14 (Japan)**  
H. MATSUMIYA  
IEA Wind Energy Annual report 1997 (1998-9), pp.95~105  
IEAにおける風力国際研究協力の年報として、1997年における風力開発の重要な出来事、動向について日本の部分をまとめた。
5. **風と星の未来**  
松宮 輝  
「NKK360度」(1998-10), pp.11  
かけがえのない地球の環境を守ることと、風力エネルギーの利用可能性について論じた。
6. **複雑地形における風況測定と風力タービン性能評価に関する研究 (第一報、竜飛ウィンドパークにおけるNEDO500kW機の性能評価)**  
松宮 輝, 今村 博 (横浜国立大学), 土屋 敬一<sup>1</sup>, 山田 佐佳<sup>1</sup> (東北電力)  
日本機械学会論文集 (B編) 64-626 (1998-10), pp.3323~3329  
竜飛ウィンドパークにおける風況測定とNEDO-500kW機の性能計測を通じて、複雑地形における風力タービン性能が的確に評価できることを実証した。
7. **風力エネルギーのこれから**  
松宮 輝  
National「風」(1998-12), pp.9~10  
地球環境問題が顕在化する現在、風力エネルギーの重要性について述べた。
8. **我が国の風力発電の現状と展望**  
松宮 輝  
日本風工学会誌 (1998-12), pp.1~5  
最近成長している風力開発の現状と技術課題について論じた。
9. **自己修復する機械**  
小鍛冶 繁, 村田 智, 吉田 英一, 黒河 治久, 富田 康治  
インテリジェント材料 8-3 (1998-12), pp.21~28  
機械を製造する新しい方法として、知的能力を持つ多数のユニットの集合体が自己組織的に形を作り上げるシステムを構成した。このシステムは障害が発生した時に外部の助けをせずに修復する能力を持っていることを実験的に示した。
10. **Determination of the Asymmetry Parameter and Scattering Coefficient of Turbid Media from Spatially Resolved Reflectance Measurements**

- MATTHEW R. JONES (*Univ. of Arizona*), Y. YAMADA  
Optical Review 5-2 (1998-5), pp.72 ~ 76
- 散乱・吸収をもつ媒体の非等方散乱パラメータを測定するため、光ファイバを横並びのシート状に配置し、端の1本から近赤外光を入射し、残りのファイバで反射光を測定し、モンテカルロ法によるシミュレーションの結果とのフィッティングで非等方散乱パラメータを求める方法を提案し、実験的に確認した。
11. 光で体の中を視る - 光CTによる生体診断 -  
Observe Inside Body by Light -Biological Diagnosis by Optical Tomography-  
山田 幸生  
日本機械学会誌 101-956 (1998-7), pp.29 ~ 33  
光を利用した生体計測について、その可能性、および問題点、また光利用生体計測装置の現状および開発状況について光CTを中心に解説した。
12. 酸素状態の断層像を描き出す光CT  
山田 幸生  
医学のあゆみ186-5 (1998-8), pp.335 ~ 340  
酸素状態の断層像を描き出す新しい無侵襲断層画像装置として開発が進められている光CT技術の現状と展望を述べた。
13. Simulation of 3D light propagation in a layered head model including a clear CSF layer  
S. TAKAHASHI (*Daikin Ind., Ltd.*), Y. YAMADA  
OSA TOPS, Advances in Optical Imaging and Photon Migration 21 (1998-11), pp.2 ~ 6  
光CTの開発に必要なとさせる脳内の光伝播解析において透明な脳脊髄液層は拡散近似が成立しないために、解析ができなかった。本研究では拡散近似とRadiosityの概念を用いて複合的な計算を行って有限要素法により計算することに成功した。
14. Investigatin of the direct and indirect signal contributions of brain heatoma in near infrared spectroscopy  
E. OKADA (*Keio Univ.*), Y. YAMDA, Y. TANIKAWA, M. FIRBANK<sup>1</sup>, D. T. DELPY<sup>1</sup> (<sup>1</sup>*Univ. Colledge London*)  
OSA TOPS, Advances in Optical Imaging and Photon Migration, vol.21 (1998-11), pp.7-10  
ヒト頭部内の近赤外分光測定を行う際、脳内血腫によりどのような影響を受けるかを数値シミュレーションで解析した。
15. Cyclic Fatigue Crack Growth Characteristics for SiC Whisker-reinforced Alumina Matrix Composite  
F. TAMAI (*Indusrial Technology Center of Saga*), K. HIRANO  
Damage and Fracture Mechanics-Computer Aided Assessment and Control-Computational Mech.Pub. (1998-6), pp.257 ~ 266  
SiCウイスカー強化アルミナセラミックス複合材料について、繰返し疲労き裂進展試験を行い破壊メカニズムの解明を通して疲労き裂進展特性を明らかにするとともに、PSZ粒子強化との比較においてアルミナセラミックスの高靱性化および耐久性向上を図る材料設計としてのウイスカー強化の有効性を示した。
16. Improvement of Fracture Toughness for Titanium Aluminide Intermetallic by High Temperature Melting Point Ductile Metallic Fibers  
K. HIRANO  
9th Cimtec-World Forum on New Materials-Advanced Structural Fiber Composites- P. Vincenzini (Editor), (1998-6), pp.263 ~ 270  
タングステン及びタングステン・レニウム連続繊維強化チタンアルミナイドについて、ニオブ強化チタンアルミナイドとの比較において破壊靱性を評価するとともに、先に提案した延性金属相高靱化メカニズムに基づき破壊靱性が解析的に予測できることを明らかにした。
17. Fatigue Damage Analysis of Austenitic Stainless Steel by Magnetic Force Microscope  
T. SUZUKI, K. HIRANO  
Proc.of the 12th Biennial Conference on Fracture I (1998-9), pp.97 ~ 102  
磁気力顕微鏡を用いた新たな損傷解析法を開発し、オーステナイト系ステンレス鋼の極低温および強磁場・極低温疲労損傷解析を行った。極低温下および強磁場・極低温下の疲労き裂縁に生成されるマルテンサイト変態域は強変態域および部分変態域から構成されることがわかった。また、疲労き裂進展特性をき裂縁の強変態域に起因する変態誘起き裂閉口と結びつけて説明することができた。
18. TiAlの室温延性と高温強度 (1373K)  
市川 洵, 木下 好司  
まてりあ 37-2 (1998-2), pp.99  
セラミック粒子を添加した銅及びTi-Al系金属間化合物の凝固中に回転攪拌を加えて、マイクロ組織を制御し、粒子分散強化複合材料を創製する実験を行い、優れた材料特性を達成した。

19. SUS304の超塑性挙動改善のための加工熱処理  
加藤 正仁, 鳥阪 泰憲  
鉄と鋼 2-0 (1998-2), pp.127 ~ 130  
オーステナイト系ステンレス鋼の結晶粒径を加工熱処理により約  $1 \mu\text{m}$  とすると、超塑性挙動を発現する。この加工熱処理プロセスを改善し、結晶粒径を500nm以下とすると、超塑性挙動が改善され、 $1 \times 10^{-3}/\text{s}$ のひずみ速度で400%以上の伸びが得られるようになった。
20. レオリファイン法 - 材料再生のためのセミソリッド加工 -  
市川 洌, 加藤 正仁, 足助 富美雄, 中澤 克紀  
まてりあ37-2 (1998-2), pp.13 ~ 16  
効率的に高純度材料を再生産するために、Al-Sn及びAl-Ni合金のレオリファインプロセスについて調べた。初期組成がAl-50%Sn合金の鋳塊にプランジャー速度 $2.8 \times 10^{-4} \text{mm/s}$ で72Ks間、加圧すると、同鋳塊の化学組成はSn:0.01%以下、Al:98%で殆ど完全に錫を除去できた。Al-Ni合金鋳塊の同一条件のレオリファイン実験でも同様に効率的にニッケルを除去できた。
21. 金属間化合物 $\text{Ni}_3\text{Al}$ の溶融紡糸法による製造法の検討  
鳥阪 泰憲, 喜多方 徳馬<sup>1</sup>, 小林 勝<sup>1</sup> (千葉工業大学)  
鉄と鋼 84-3 (1998-3), pp.224 ~ 229  
金属間化合物 $\text{Ni}_3\text{Al}$ に回転水中紡糸法を適用した結果、噴射条件、特に噴射温度が $\text{Ni}_3\text{Al}$ 極細線の連続性および脆さに大きな影響を及ぼすことを明らかにした。すなわち、健全な極細線が得られる射出直前の温度領域は融点をはるかに超えた1900 ~ 1950 K付近であり、また引張強さはその後の熱処理温度が高くなるほど低下したが、伸びは1033 K付近で最大値を有した。
22. **Production and Properties of Copper-Matrix and Intermetallic-Matrix Composite Materials by Rheocasting**  
K. ICHIKAWA  
Proceedings of 5th International Conference on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites (1998-6), pp.565 ~ 572  
セラミック粒子を添加した銅及び金属間化合物チタンアルミナイドの凝固中に攪拌を加えて、ミクロ組織を制御し、複合材料の特性の改善を図る実験を行った。その結果、電氣的機械的特性に優れた粒子分散強化銅と室温延性及び高温強度に優れたチタンアルミナイド複合材料の創製に成功した。
23. **Capability of process lubrication for ceramic materials**  
S. SASAKI  
Proceeding of 11th International Colloquium on Tribology 3 (1998-1), pp.1867 ~ 1874  
ジルコニアセラミックスを有機化合物蒸気雰囲気中で摩擦した表面をTOF-SIMSを用いて分析した結果、分子量100以下のベンゼンやアセトンを用いたにもかかわらず、摩擦表面に形成された反応生成物は分子量1000程度のポリマーであることがわかった。このようなフリクションポリマーを積極的に利用することで、雰囲気物質によるプロセス潤滑が可能であると考察した。
24.  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}/\text{Ni}$ 系傾斜機能材料の摩擦・摩耗特性評価  
宮本 欽生<sup>1</sup>, 林 君山<sup>1</sup>, 山本 雅章<sup>2</sup>, 田中 良平<sup>2</sup>, 梅田 一徳, 田中 章浩 (大阪大学接合科学研究所, <sup>2</sup>(株)超高温材料研究所)  
粉体および粉末冶金 45-3 (1998-3), pp.242 ~ 247  
外層を $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、内層をTiC/Ni組成にし、さらに硬質粒子のSiCおよび高靱性粒子のWC/Coを外層に分散させた対称傾斜組成材料をSHS/HIPにより焼結した。これらの傾斜材の機械的特性と摩擦・摩耗特性を評価し、以下の結論を得た。(1) $\text{Al}_2\text{O}_3$ 焼結体に比べ、傾斜材はいずれも摩耗が少なく、特に、SiC添加系は相手材の $\text{Al}_2\text{O}_3$ ボールの摩耗も少なかった。(2)WC/Co複合層を $\text{Al}_2\text{O}_3$ 層に分散させた試料の摩擦係数は0.28と比較的低い。(3)傾斜材の摩擦係数はいずれも高温になると最高0.8程度まで高くなり、摩耗面も荒くなった。
25. 摩擦摩耗の評価法  
田中 章浩  
月刊トライボロジ127 (1998-3), pp.18 ~ 20  
プラスチックのような材料の摩擦摩耗特性を評価する方法の現状や問題点について記述した。また、摩擦摩耗に関連する材料の移着の評価法についても述べた。
26. シールの種類と機械設計  
田中 章浩  
機械設計 42-3 (1998-3), pp.18 ~ 21  
シールの種類と特徴、それぞれのシールが適用できる圧力、温度の範囲、機械設計におけるシールの課題について記述した。
27. **Measurement of Transient Electric Charge Signals Induced by a Laser Plasma Plume**  
S. KANO, H. SHIMURA, Y. ENOMOTO, N. AYA,

N. ICHIKAWA, H. IWAMOTO (NEDO)

Proceedings of ICALEO 97 83-1 (1998-4),  
pp.112 ~ 121

高出力炭酸ガスレーザーを軟鋼に照射し得られる電  
氣的信号と光信号を検出し、加工表面粗さや硬さとの  
関係を求めた。照射したパワーを横軸に、エネルギー  
密度を縦軸にとった表に、これらの信号量と粗さ及び  
硬さを示すことにより、軟鋼の最適硬化条件が明らか  
となった。以上から、これらの信号の検出が、加工状  
況診断に有効な手法の一つであることを明らかにし  
た。

28. **Friction and Wear of Diamond-Like Carbon  
Films Deposited Using Different Methods under  
Different Conditions**

A. TANAKA, M. KO<sup>1</sup>, S. KIM<sup>1</sup>, S. LEE<sup>1</sup>, T. KUMAGAYA  
(Nanotech Co.) (<sup>1</sup>Korea Institute of Industrial  
Technology)

Diamond Films and Technology 8-1 (1998-  
5), pp.51 ~ 64

シリコン基盤にプラズマCVD法により蒸着した  
DLC膜と、超硬合金上にイオンプレーティング法によ  
り蒸着したDLC膜の摩擦摩耗特性を調べた結果を報告  
した。

29. **A Study in high temperature Tribological  
Characteristic of the Plasma Sprayed ZrO<sub>2</sub>  
Coating**

SONG Y.S<sup>1</sup>, HAN J.C<sup>1</sup>, PARK M.H<sup>2</sup>, LEE K.H<sup>2</sup>, BYUN  
E.S<sup>2</sup>, S.SASAKI (<sup>1</sup>Hankuk Aviation Univ., <sup>2</sup>Korea  
Institute of Machinery and Metals)

Proc. the 15th International Thermal Spray  
Conference (1998-5), pp.225 ~ 229

サーマルバリアコーティング (TBC) 被膜の開発に  
当たり、ジルコニア被膜の高温環境下におけるトライ  
ボロジー特性の向上が求められている。プラズマ溶射  
条件の変化させた数種類のジルコニア被膜を評価する  
ことにより、溶射条件と被膜の構造、さらに高温トラ  
イボロジー特性との関係について検討を行った。

30. **Coating of molybdenum on C/C composite using  
laser-plasma hybrid spray**

T. IKENO<sup>1</sup>, S. SASAKI, H. SHIMURA, Y. KAWAKAMI<sup>1</sup>,  
Y. HIGASHIGUCHI<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Vacuum Metallurgy Co.Ltd.)

Surface Modification Technologies 11-11  
(1998-8), pp.403 ~ 410

C/Cコンポジット材料表面の加工精度付与を目的と  
して、厚膜金属コーティング技術の開発を行った。レ  
ーザー援用プラズマ溶射法によって、レーザーパワー  
を制御することで、密着性の高い厚膜コーティングが

可能になった。被膜界面の分析結果とともに、被膜の  
機械加工性およびミラー等の部品への応用の可能性に  
についても検討した。

31. **Synthesis of diamond film by DC plasma coating  
using ultra-fine carbon particles as an original  
source material**

Y. KAWAKAMI (Vacuum Metallurgy), S. SASAKI, H.  
SHIMURA

Surface Modification Technologies 11-11  
(1998-8), pp.196 ~ 202

炭素超微粒子を出発原料として、これをヘリウムガ  
スで直流プラズマ中に導入することによってダイヤモンド  
膜の合成実験を行った。ラマン分析の結果、作製  
した被膜の一部にダイヤモンド構造が含まれることが  
明らかになった。

32. **Friction and Wear of Plastics Sliding against  
Diamond-Like Carbon Films**

A. TANAKA, S. OGURA<sup>1</sup>, R. MURATA<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Science Univ.  
of Tokyo)

Proc. the First Asia International Conference  
on Tribology 2 (1998-10), pp.569 ~ 573

ダイヤモンドライクカーボン膜とPTFE、ポリエチ  
レン等のプラスチックとを摩擦した時の摩擦摩耗挙動  
について報告した。

33. **Excimer Laser Irradiation Effect on Polymer  
Friction**

A. TANAKA, H. SHIMURA, A. YABE<sup>1</sup>, H. NIINO<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup>NIMC)

Proc. Symposium on Lubricating Materials  
and Tribochemistry (1998-10), pp.119 ~ 125

ポリエチレンテレフタレートとの摩擦に対するエキシ  
マレーザー照射の影響を調べた結果について報告し  
た。

34. **水圧システム開発の方向性 - 高圧領域 -  
田中 章浩**

フルイドパワーシステム (日本油空圧学  
会誌) 29-7 (1998-11), pp.641 ~ 640

環境保全の観点から、油圧に変わり水圧を利用した  
機器への関心が高まっている。このような水圧利用機  
器のトライボロジー技術の現状および今後の開発課題  
等について概説した。

35. **Effect of surrounding atmosphere on tribological  
properties of ceramics using nano-indentation  
method**

S. SASAKI, J. B. PETHICA (Univ. of Oxford)

Proc. of International Tribology Conference,  
AUSTRI98 (1998-12), pp.513 ~ 517

脆性材料表面におけるケモメカニカル効果を明らかにするため、ナノインデンテーション法を用いて、各種溶液中において焼結アルミナ表面の極微小硬さ測定を行い、摩擦・摩耗特性との相関を調べた。その結果、水溶液のpHの影響は硬さには影響しないが、アルコール等の有機化合物の吸着が硬さに影響を及ぼすことが明らかになった。

**36. Damage development of silicon based ceramics during sliding friction**

H. USAMI<sup>1</sup>, N. KAWASHIMA<sup>1</sup>, J. SUGISHITA<sup>1</sup>, S. SASAKI, K. UMEDA (<sup>1</sup>Univ. of Meijyo)

Proc. of International Tribology Conference,  
AUSTRI98 (1998-12), pp.189 ~ 194

窒化ケイ素を大気中高温環境下で摩擦させ、曲げ強度試験によって表面の損傷診断を行った。

**37. Fabrication of dynamic optical head phantoms from an MRI head model**

Y. TANIKAWA, D. IMAI<sup>1</sup>, H. MAKI<sup>1</sup>, S. TAKAHASHI (NEDO), Y. YAMADA (<sup>1</sup>Science Univ. of Tokyo)

SPIE Proceedings 3194 (1998-1), pp.512 ~ 521

MRI画像をもとに精密にヒト頭部の複雑な構造を模擬したファントムを作製した。また、作製の際、ファントム内に空洞と外部接続用導管を設けることにより、ダイナミックな部分を設けた。

**38. Evaluation of Residual Stresses in Thin Films by Means of micro-Raman Spectroscopy**

K. MIZUHARA, S. TAKAHASHI (Nikon), J. KUOKAWA<sup>1</sup>, N. MORITA<sup>1</sup>, Y. YOSHIDA<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Chiba Univ.)

MRS Symposium Proceedings 505 (1998-1), pp.501 ~ 506

数ミクロンの位置分解能を持つマイクロラマン法による残留応力測定を薄膜に適用する場合に問題となる因子とその影響の度合いを検討した。その結果、レーザーによる局所的加熱が最大の問題であり、容易に数百に達する結果、応力測定を不可能にすることを示した。また、ストークス・アンチストークス同時計測による温度補償、水冷による温度上昇の抑制方法について検討を加え、その得失について述べた。

**39 冷媒代替化における問題点**

水原 和行

トライボロジスト 43-3 (1998-3), pp.179 ~ 182

オゾン層破壊問題に端を発した冷媒代替化に際して

冷凍機に生じたトライボロジカルな問題とその原因について、これまでの知見を整理して示した。また、その対策の現状についてのべると共に、今後の動向及びまだ未解決の問題点について解説した。

**40. 骨の力学的特性と骨密度におよぼす運動後効果**  
白崎 芳夫, 立石 哲也 (産業技術融合領域研究所), 木内 敦詞 (大阪工業大学), 勝田 茂 (筑波大学)

日本レオロジー学会誌 26-2 (1998-6), pp.115 ~ 118

骨の力学的特性と骨密度におよぼす運動効果を明らかにするためラットを用い、強制的に走行運動させた後、時間経過に伴う骨密度の変化を大腿骨、頸骨、上腕骨を用いて測定した。さらに、同一資料の大腿骨の3点曲げ試験と応力緩和試験を行い骨密度との関係を明らかにした結果について述べた。

**41. パルス系列-MR入門講座**

本間 一弘

日本磁気共鳴医学会 (1998-7), pp.35 ~ 47

MRIにおける基本的な撮像法であるスピンエコー (SE) 法とグラジエントエコー (GRE) 法を中心に、画像化の原理と特徴を解説した。SE法は組織の特性を正しく描画する。高速撮像のためには、1回の励起により多数のスピンエコーを観測する必要がある。GRE法では、観測時のスピンの挙動により組織の描出状態が変化する。このため、用いるパルス系列や磁場の均一状態などの詳細を把握する必要がある。

**42. Simple Validation of Biomechanical Models of Brain Tissue**

K. MILLER (Univ. Western Australia), K. CHINZEI

Journal of Biomechanics 31-Suppl. 1 (1998-7), pp.104

ブタ大脳を用いた実験により、大脳の構成方程式を提案してきたが、その簡易な検証を行った。in vitro実験の結果から構築した構成方程式の、圧縮直後の挙動から得た近似的ヤング率は3240 Paであった。一方、麻酔開頭下にブタ大脳に加えた押込み試験により7425 Paを得た。これらの数値はこれまで報告されてきた大脳組織のヤング率とオーダー的に一致する。妥当な結果を得たものと結論出来る。

**43. 超音波による精密加工面の残留応力評価に関する研究**

影山 泰輔<sup>1</sup>, 水原 和行, 森田 昇<sup>1</sup>, 吉田 嘉太郎<sup>1</sup> (<sup>1</sup>千葉大学)

精密工学会誌 64-11 (1998-11), pp.1679 ~ 1683

精密加工面に存在する局所的残留応力を定量的に測定するため、超音波法によるシリコン加工面の残留応力測定法を開発した。これを単粒による加工面に適用し、その結果をマイクロラマン法による分析結果と比較し、開発された手法がマイクロラマン法と同程度の精度を持っていることを示した。

#### 44. Improvements in the design of the Monopivot Magnetic-Suspension Blood Pump

T. YAMANE, M. NISHIDA, T. ORITA, T. KIJIMA<sup>1</sup>, J. MAEKAWA<sup>1</sup> ('Terumo Corp.)

Heart Replacement-Artificial Heart 6 (1998-1), pp.401 ~ 405

当所で開発してきたモノピボット磁気支持遠心血液ポンプについて、ダイレクトドライブ機構の採用によって小型化し、クローズドインペラの採用により溶血も所定値以下に抑制するまでの開発プロセスを示した。

#### 45. 生体用新Ti合金の機械的性質に及ぼす酸素と窒素の微量添加の影響

岡崎 義光, 許 健司 ((株)小川スプリング), 伊藤 喜昌 ((株)神戸製鋼所), 立石 哲也 (産業技術融合領域研究所)

日本金属学会誌 62-2 (1998-2), pp.207 ~ 214

室温強度と疲労強度の向上を目指して、酸素と窒素を微量複合添加効果した新Ti合金を 変態終了温度近傍で 溶体化処理後、低温域で時効処理を行った。この溶体化・時効材の室温強度および疑似体液中での疲労強度を焼鈍材と比較し、人の関節の運動力学的解析から得られた歩行波形とサイン波形依存性についても検討したのでその結果を報告した。

#### 46. 酸素と窒素を微量複合添加した生体用新Ti合金の疑似体液中での疲労特性

岡崎 義光, S.RAO, 立石 哲也 (産業技術融合領域研究所), 伊藤 喜昌 ((株)神戸製鋼所)

生体材料 16-1 (1998-2), pp.12 ~ 28

各種生体用Ti合金に合金元素として添加されている各種金属の細胞への影響を24ウェルのシャーレおよび金属塩を用いた場合と比較検討するため、各種金属粉末を細胞培養液に加え、インキュベーター内で培養した。新Ti合金に侵入型元素である酸素と窒素を微量複合添加し、変態終了温度近傍の高温域での溶体化処理を行い、低温域で時効処理を加えた溶体化・時効処理により、疲労強度が高いTi合金が得られたので報告した。

#### 47. Cytocompatibility of various metal and development of new titanium alloys for medical implants

Y. OKAZAKI, S. RAO, T. TATEISHI (National Institute for Advanced Interdisciplinary), Y. ITO (Titanium Metals technology Department, Koe Steel Lt)

Materials Science and Engineering A A243 (1998-2), pp.250 ~ 256

AlとV以外の元素からなるTi-13%Zr-13%Nb合金が米国で開発され実用化されつつある、同様に著者らもTi-15%Sn-4%Nb-2%Ta-0.2%Pd合金の開発を行っている。Al,V,Ti以外の合金元素であるZr, Sn, Nb, Ta, Pd, Mo, Si, Co, Ni, Cr, Feなどの相対細胞増殖率に及ぼす影響を検討した結果について報告した。

#### 48. 誘導結合プラズマ質量分析法による疑似体液中の微量Ti,Al,Vの同時定量

岡崎 義光, 西村 恵美子 (くらしとJISセンター)

日本金属学会誌 62-3 (1998-3), pp.293 ~ 300

ICP-MSを用いて疑似体液中のTi,Al,V濃度を動じ定量する場合に関して、容器の影響、疑似体液の前処理に使用する酸及びオートサンブラを併用した場合の測定条件(洗浄時間、質量数、積分時間、内標準)に及ぼす疑似体液の影響を検討したので報告した。

#### 49. A new technology trend of artificial organs

T. YAMANE

Now & Future, JITA 13-43 (1998-4), pp.2 ~ 4

一般的人工臓器の現状、通産プロジェクトを中心とした人工心臓の技術動向、機械技術研究所の人工心臓の研究成果を記述した。

#### 50. 体内埋込みを目指す人工心臓の開発

山根 隆志

まてりあ 37-4 (1998-4), pp.243 ~ 247

体内埋め込みが可能になり始めた人工心臓の現状と、拍動流型人工心臓および連続流型人工心臓の開発状況を写真入りで解説した。

#### 51. 生体用金属材料の細胞適合性、耐食性、耐摩耗性の評価方法に関する標準情報 (TR) の公表

岡崎 義光

まてりあ 37 (1998-4), pp.269 ~ 270

標準基盤研究の中核的な施設である通産省工業技術院「くらしとJISセンター」で行われている生体材料の生体適合性評価方法に関する研究内容を通産大臣及び厚生大臣の名において平成9年8月1日に公表され

た三つの標準情報 (TR) の内容を紹介した。

## 52. 金属系バイオマテリアル

岡崎 義光

Boudary 14-4 (1998-4), pp.36 ~ 41

高齢者社会の到来とともに長期間安全に埋入できるインプラントの開発が必要となる。外科および整形外科を中心に金属系バイオマテリアルの研究の現状と研究課題について述べた。

## 53. Flow visualization as a complimentary tool to hemolysis testing in the development of centrifugal blood pumps

T. YAMANE, BALAZS ASZTALOS (STA fellow), M. NISHIDA, T. MASUZAWA<sup>1</sup>, K. TAKIURA<sup>1</sup>, Y. TAENAKA<sup>1</sup>, Y. KONISHI<sup>2</sup>, Y. MIYAZOE<sup>2</sup> (<sup>1</sup>NCVC, <sup>2</sup>Nikkiso Co.)

Artificial Organs 22-5 (1998-5), pp.375 ~ 380

体外循環用の遠心血液ポンプについて、溶血試験、数値流体解析との比較のため流れの可視化実験を実施し、高剪断域と半径方向隙間など設計パラメータとの関連を調べた。

## 54. Computational Fluid Dynamic Analyses to Establish Design Process of Centrifugal Blood Pumps

Y. MIYAZOE, T. SAWAIRI, K. ITO, Y. KONISHI (Nikkiso Co.), T. YAMANE, M. NISHIDA, T. MASUZAWA (Ibaraki U.), K. TAKIURA, Y. TAENAKA (NCVC)

Artificial Organs 22-5 (1998-5), pp.381 ~ 385

体外循環用の遠心血液ポンプについて、溶血試験や可視化実験との比較のため、数値流体解析を実施し、半径方向隙間と剪断応力の関係等を解析した。

## 55. Washout hole flow measurement for the development of a centrifugal blood pump

M. NISHIDA, T. YAMANE, BALAZS ASZTALOS

Artificial Organs 22-5 (1998-5), pp.386 ~ 392

当所開発の遠心血液ポンプにおけるセミオープンインペラの背面よどみを解消するためのホールについて、可視化手法を用いて流れを定量化した。

## 56. Development of Design Methods of a Centrifugal Blood Pump with In Vitro Tests, Flow Visualization, and Computational fluid Dynamics: Results in Hemolysis Tests

K. TAKIURA, S. ENDO, Y. WAKISAKA, E. TATSUMI, Y. TAENAKA, H. TAKANO (NCVC), T. YAMANE, M. NISHIDA, BALAZS ASZTALOS, Y. KONISHI, Y. MIYAZOE, K. ITO (Nikkiso Co.)

Artificial Organs 22-5 (1998-5), pp.393 ~ 398

体外循環用の遠心血液ポンプについて、可視化実験や数値流体解析との比較のため、ヤギ血による溶血試験を実施し、半径方向隙間などの設計パラメータとの関連を検討した。

## 57. 新Ti合金鑄造材と歯科用合金のガルバニック腐食特性

岡崎 義光, 中田 浩史<sup>1</sup>, 佐伯 啓行<sup>1</sup>, 小林 喜平<sup>1</sup>, 立石 哲也 (産業技術融合領域研究所) (<sup>1</sup>日本大学)

生体材料 16-5 (1998-6), pp.243 ~ 253

歯科用金属材料とTi-15%Zr-4%Nb-4%Ta-0.2%Pd-0.2%O-0.05%N合金の接触腐食 (ガルバニック腐食) 特性を検討するため、全自動ガルバニック電位、ガルバニック腐食による金属元素の溶出に関して検討したのでそれらの結果について報告した。

## 58. Corrosion Resistance and Galvanic Corrosion on Various Dental Alloys and New Ti alloys without V and Al

Y. OKAZAKI, H. NAKADA<sup>1</sup>, K. KOBAYASHI<sup>1</sup>, T. TATEISHI (National Institute for Advanced Interdisciplinary) (<sup>1</sup>Nihon Univ.)

Journal of Dental Research 77-Special Issue B (1998-6), pp.952

開発中のTi-Zr系合金が歯科用インプラント材料として応用できるのではないかと考え、口腔内環境における性質を調べた。1%乳酸および人工唾液溶液中のアノード分極試験による耐食性評価を行ったこと等を発表した。

## 59. 遠心血液ポンプのインペラ/ハウジング隙間における速度分布の可視化計測

山根 隆志, HELEN CLARKE (Cambridge Univ.), 西田 正浩, BALAZS ASZTALOS (STA fellow), 小林 敏雄 (東京大学)

ライフサポート 10-2 (1998-6), pp.41 ~ 44

表題隙間における接線方向速度分布の流れの可視化で計測し、壁近傍にのみ高い剪断が存在することを、実験的に検証した。

## 60. Corrosion resistance, mechanical properties, corrosion fatigue strength and cytocompatibility of new Ti alloys without Al and V

Y. OKAZAKI, S. RAO, Y. ITO (Titanium Metals Technology Department, Kobe Steel L), T. TATEISHI (National Institute for Advanced Interdisciplinary)

Biomaterials 19 (1998-8), pp.1197 ~ 1215

Vイオンの強い細胞毒性、Alの神経毒性が欧米を中心に懸念され、Near 型合金であるTi-13%Nb-13%Zr

合金がISOでも規格化されつつある。同様な懸念から著者らは生体適合性に優れた合金元素を添加したTi-15%Zr-4%Nb-4%Ta-0.2%Pd-0.2%O-0.05%NおよびTi-15%Sn-4%Nb-2%Ta-0.2%Pd-0.2%O-0.005%N合金の材料開発を10年間行ってきた内容に関して詳細に報告した。

61. VとAlを含まない生体用新Ti合金の細胞適合性と力学特性

岡崎 義光, 立石 哲也 (産業技術融合領域研究所)

国際医書出版「骨・関節・靭帯」11-9 (1998-9), pp.1147 ~ 1154

Ti-15%Zr-4%Nb-4%Ta-0.2%Pd合金およびTi-15%Sn-4%Nb-4%Ta-0.2%Pd合金に酸素と窒素を微量複合添加することにより、細胞適合性と耐食性に優れ、室温強度と疲労強度の高い合金を開発したのでその結果を報告した。

62. 遠心血液ポンプのインペラ端・ケーシング間隙の溶血特性への影響

増澤 徹, 築谷 朋典, 遠藤 誠子, 巽 英介, 妙中 義之 (国立循環器病センター), 山根 隆志, 西田 正浩, BALAZS ASZTALOS, 宮副 雄貴, 伊藤 和之, 沢入 利夫, 小西 義昭 (日機装)

ライフサポート 10-3 (1998-9), pp.102 ~ 105

遠心血液ポンプの隙間が溶血特性に及ぼす影響を、溶血試験、数値流体解析、可視化実験により定量的に明らかにした。

63. Effects of Aluminium Oxide Film on Fibroblast L929 and V79 Cell Viabilities

Y. OKAZAKI, S. KATSUDA<sup>1</sup>, Y. FURUKI<sup>1</sup>, T. TATEISHI (National Institute for Advanced Interdisciplinary) (<sup>1</sup>Japan Food Research Laboratories)

Materials Transactions, JIM 39-10 (1998-10), pp.1063 ~ 1069

長期間にインプラントから徐々に溶出する金属イオンのインプラント周辺組織への影響を検討するため、培養液との接触面積が大きい金属粉末を用い、培養液中で抽出を行った。この抽出培養液を用い、継代した3種類の株化細胞 (L929, MC3T3-E1, V79) を培養し、相対細胞増殖率に及ぼすTi, Al, Vの濃度の影響を検討したのでその結果について報告した。

64. Effects of Metallic Concentrations Other Than Ti, Al and V on Cell Viability

Y. OKAZAKI, S. RAO, S. ASAO (Nippon Institute of

Technology Univ.), T. TATEISHI (National Institute for Advanced Interdisciplinary)

Materials Transactions, JIM 39-10 (1998-10), pp.1070 ~ 1079

粉末を用いて培養液中で抽出した場合には、AlとVの細胞増殖阻害作用は強く、また、培養液中に約0.2-0.5mass ppm以上のAlが存在すると、相対細胞増殖率がほぼ0になる。特にAlとTi表面の酸化皮膜に注目し、細胞増殖率に及ぼす表面処理の影響について詳細に検討した結果について報告した。

65. Effects of Ti, Al and V Concentrations on Cell Viability

Y. OKAZAKI, S. RAO, S. ASAO (Nippon Institute of Technology Univ.), T. TATEISHI (Nippon Institute for Advanced Interdisciplinary Re), S. KATSUDA<sup>1</sup>, Y. FURUKI<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Japan Food Research Laboratories)

Materials Transactions, JIM 39-10 (1998-10), pp.1053 ~ 1062

長期間にインプラントから徐々に溶出する金属イオンのインプラント周辺組織への影響を検討するため、培養液との接触面積が大きい金属粉末を用い、培養液中で抽出を行った。この抽出培養液を用い継代した3種類の株化細胞 (L929, MC3T3-E1, V79) を培養し、相対細胞増殖率に及ぼすTi, Al, Vの濃度の影響を検討したのでその結果を報告した。

66. 生体用新Ti合金の開発

岡崎 義光, 立石 哲也 (産業技術融合領域研究所)

日本臨床バイオメカニクス学会誌 19 (1998-10), pp.533 ~ 538

Ti-15%Zr-13%Nb-4%Ta-0.2%PdおよびTi-15%Sn-13%Nb-4%Ta-0.2%Pd合金に酸素と窒素を微量複合添加することにより、耐食性に優れ、室温強度と疲労強度の高い合金を開発したのでその結果について報告した。

67. 各種金属の細胞適合性と生体用新チタン合金の開発

岡崎 義光

まてりあ 37-10 (1998-10), pp.838 ~ 842

この特集では、合金別に材料開発の現状と今後の期待、腐食疲労、高生体適合性を得るための表面改質、生体用セラミックの現状、難加工材の研磨技術の開発に関しての最新の情報をわかりやすくまとめた。

68. 第3回バイオメカニクス世界会議

西田 正浩

混相流 13-4 (1998-12), pp.383 ~ 385

平成10年8月2日から8日の7日間、北海道大学において開催された第3回バイオメカニクス世界会議の参加報告。

**69. Integrated scatter plate and projection lens for scatter plate interferometer**

*J. RASANEN<sup>1</sup>, K. E. PEIPONEN<sup>1</sup>, K. M. ABEDIN (Univ. of Dhaka), K. TENJIMBAYASHI, T. EIJU, K. MATSUDA (Univ. of Sydney) (<sup>1</sup>Univ. of Joensuu)*

*Review of Scientific Instruments 69-4 (1998-1), pp.1587 ~ 1590*

スキヤッタプレート干渉計は主に凹面鏡の形状をテストするために用いられ、参照鏡が不要である、共通光路干渉計であるために外乱に強い、等の特徴を持つ。ここでは、スキヤッタ機能とレンズ機能を兼ね備えた複合光学素子を電子ビーム描画によって作成し、スキヤッタプレート干渉計に応用できることを示した。これによって従来の光学系が簡素化され、スキヤッタプレートの厚みによる収差が除去される利点が生じる。

**70. Experimental verification of computer simulation of the scatter plate interferometer**

*K. ABEDIN (Univ. of Dhaka), J. RASANEN<sup>1</sup>, M. KAWAZOE (Univ. of Tokai), K. TENJIMBAYASHI, T. EIJU, K. MATSUDA (Univ. of Sydney), K. E. PEIPONEN<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Univ. of Joensuu)*

*Optik 108-1 (1998-1), pp.27 ~ 31*

スカラー回折理論を用いてスキヤッタプレート干渉計の干渉縞パタンの計算機シミュレーションを行った。その結果は、実験の縞パターンと定性的のみならず定量的にも良く一致することが示された。これによって本シミュレーション手法がスキヤッタプレート干渉計の設計において有効であることが判った。

**71. Coherence Filters and Their Uses II: One-dimensional Realizations**

*T. SHIRAI, E. WOLF<sup>1</sup>, H. CHEN<sup>1</sup>, W. WANG<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Univ. of Rochester)*

*Journal of Modern Optics 45-4 (1998-4), pp.799 ~ 816*

コヒーレンスフィルターとは、透過光の空間的コヒーレンスのみを変化させる一種の空間フィルターである。本研究の第1報(同論文誌に掲載)では、このコヒーレンスフィルターの概念を初めて提案し、これを導入することにより透過光のスペクトルを任意状態に制御できることを理論的に明らかにした。その論文の続編にあたる本論文では、レンズ・プリズム等の光学素子を適当に組み合わせることによりコヒーレンスフィルターを実現できることを明らかにし、その天文学・信号処理分野への応用について議論している。

**72. Phase-shifting algorithms for nonlinear and spatially nonuniform phase shifts: Reply to Comment**

*K. HIBINO, B. F. OREB<sup>1</sup>, D. I. FARRANT<sup>1</sup>, K. G. LARKIN (Univ. of Sydney) (<sup>1</sup>CSIRO, Australia)*

*Journal of Optical Society of America 15-5 (1998-5), pp.1234 ~ 1235*

先に我々が発表した縞走査光波干渉計の干渉縞走査位相測定法の論文に関して、仏国の研究グループより提出された疑問および質問点に関して、アルゴリズムの対称性、ランダム雑音への感度、ランダム雑音の低減への可能性、位相変調誤差を精密に測定してキャリブレーションする手法と比較してのメリット、その他に関してその後の実験結果をふまえて、回答した。

**73. Diffractive element in optical inspection of paper**

*R. SILVENOINEN, K. E. PEIPONEN, J. RASANEN, E. J. KERANEN, T. EIJU, K. TENJIMBAYASHI, K. MATSUDA (Univ. of Sydney)*

*Optical Engineering 37-5 (1998-5), pp.1482 ~ 1487*

紙片の表面の粗さ等を光学的に検出するための回折素子を設計・製作した。回折素子は4×4のマトリク状のスポットを創成し、それによって検査された結果は、既存の反射率センサーやスペクトルフォトメーターによって得られた結果と一致した。

**74. Electronic speckle pattern interferometry using compressed images from a digital still camera**

*K. M. ABEDIN (Univ. of Dhaka), M. KAWAZOE (Univ. of Tokai), K. TENJIMBAYASHI, T. EIJU, K. MATSUDA (Univ. of Sydney)*

*Optical Engineering 37-5 (1998-5), pp.1599 ~ 1601*

市販のデジタルスチルカメラを用いてESPI(電子スペckル干渉)を行えることを示した。熱および圧力による変形前後のスペckル画像をデジタルスチルカメラで撮影し、それらをJPEG方式によって画像圧縮して記録した。それらを読み出して画像の差分をとることにより、変形の分布がコントラストの良いスペckル干渉縞として得られた。

**75. Phase determination algorithms compensating for spatially nonuniform phase modulation in phase shifting interferometry**

*K. HIBINO, M. YAMAUCHI*

*SPIE Proceedings of the 1998 international symposium on optical science, engineering and instrumentation 3478 (1998-7), pp.110 ~ 120*

フィゾー干渉計などの光波干渉計では複数のピエゾ素子を用いた位相シフト計測法を用いるが、ピエゾ素子の応答のばらつきにより位相変調の空間的不均が生じ、測定誤差要因となる。今回この誤差要因の大きさを評価した。その結果、ピエゾ素子の伸長に二次的非線形性が存在すると、最大で1/40波長程度の測定誤差要因となることが判明した。

76. ランダム媒質による光多重散乱とスペクトル変化

白井 智宏

光学 27-8 (1998-8), pp.459 ~ 465

時間的及び空間的ゆらぎをもつ媒質によって散乱された光波のスペクトルは、媒質のゆらぎ特性に依存して変化することが理論的に示されてきた。本解説論文では、この現象の起源を物理的に明らかにした上で、その光多重散乱現象との関連を理論的に解明した一連の研究成果を概説している。また、この現象が諸分野へ与えるインパクトについても議論している。(平成8年度応用物理学会光学論文賞受賞記念解説)

77. **Suppression of spatial nonuniformity and nonlinearity in phase modulation in phase shifting interferometry**

K. HIBINO

SPIE Proceedings of Optika 98,5th Congress on Modern Optics 3573 (1998-9), pp.482 ~ 485

物体の形状や屈折率分布を精密に計測する光波干渉計においては、光波の位相を精密に決定する手段として位相シフト法が用いられる。最も精密な計測法であるフィゾー干渉計で球面を測定する場合においては、位相変調が口径内で様でないという原理的問題や位相変調の全量が正確に360度にならないといった技術的問題が存在し、精密な計測を困難にしていた。今回、空間的に不均一な位相変調を補償することが可能な位相シフト法を開発し、この干渉計に利用した場合のシミュレーションを行ったので報告する。

78. **Vibration mode analysis by two stroboscopic holographic interferograms**

K. TENJIMBAYASHI

Proceedings of SPIE 3550 (1998-10), pp.399 ~ 408

ホログラフィ干渉法は複雑なモードの振幅分布を解析するのに最適であり、代表的な方法に時間平均法とストロボ法がある。前者は振動モードが判別できるが、振幅が大きい場合には干渉縞のコントラストが低下するため計測が困難となる。後者は逆に、振幅が大きくなっても計測可能であるが、振動モードの判別はでき

ない。ここではわずかに同期がずれた二つのストロボホログラフィ干渉縞から振動モードを判別する手法を提案した。

79. 能動境界層制御による高層飛行船の抵抗低減 (カスプによる低減効果)

山村 憲弘 (日産自動車(株)), 松内 一雄<sup>1</sup>, 恩田 昌彦, 山崎 しのぶ<sup>1</sup>, 佐々木 晃<sup>1</sup> (筑波大学)

日本機械学会論文集 (B編) 64-618 (1998-2), pp.86 ~ 93

高レイノルズ数の定空域滞留飛行船の空気力学的特性の実験的研究。船体表面の発達する境界層を船尾にある軸流ファンで環状隙間から吸い込み、吸い込んだ気体を最船尾からジェットとして吹き出して抗力低減を眺らった。カスプ付と無しの2つのモデルをテストし、形状抗力を測りカスプの効果を立証した。

80. **Attuatori Ottici**

T. NAKADA (Tokyo Denki Univ.), Y. MORIKAWA

Oleodinamica Pneumatica Lubrificazione 39-3 (1998-3), pp.226 ~ 232

光の持つエネルギーと情報を積極的に利用する光アクチュエータは耐電磁ノイズ性などの特徴を有し、その研究開発が期待されている。本稿では、現在研究されている光を入力とし、出力として機械的変位を発生する様々な光アクチュエータシステムを紹介し、それらの内、PLZT素子の光歪効果を利用した光アクチュエータと、その光アクチュエータと空気圧シリンダで構成する光 空気圧サーボシステムについて詳しく報告する。

81. 光サーボシステムの基礎的研究 (PLZT素子の光起電力効果の温度依存性)

松熊 昭憲, 中田 毅 (東京電機大学), 森川 泰

日本機械学会論文集 (C編) 64-619 (1998-3), pp.1035 ~ 1040

PLZT素子を用いた光アクチュエータは光の持つエネルギーと情報を利用するアクチュエータである。本稿では、光アクチュエータの特性に主要な役割を果たすPLZT素子の光起電力効果に与える温度の影響を明らかにする為に、光起電圧の温度依存性を示し、PLZT素子の電気抵抗、光起電流及び電気容量に与える温度の影響を調べ、光起電圧が温度依存性を有する原因を明らかにし、光起電圧のシミュレーションモデルを提案する。

82. **Numerical Analysis of Transient Heat Transfer and Temperature Response in a Metal during a Laser Irradiation**

*N. ICHIKAWA, M. MISAWA, S. KANO, N. AYA, H. IWAMOTO (NEDO), Y. ENOMOTO*

Proceedings of ICALEO 83-1 (1998-5), pp.216 ~ 225

構造解析コードANSYSを用い、レーザが鉄スラブに照射された際の温度分布を計算した。いくつかのビーム形状、入熱量、スラブの移動速度に対して、スラブの温度分布の時間変化を求めた。同じ照射条件下で、スラブの表面温度を赤外線温度センサで計測した値と比較した結果、両者は実験誤差の範囲で一致しており、本モデルの有効性が確認された。スラブ表面の焼き入れ硬さの最大冷却速度依存性を、明らかにした。

83. **Development of fast X-ray CT system for transient two-phase flow measurement**

*M. MISAWA, N. ICHIKAWA, M. AKAI, K. HORI (MHI), K. TAMURA<sup>1</sup>, G. MATSUI<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Univ. of Tsukuba)*

Proc. 6th International Conference on Nuclear Engineering, San Diego, USA CD-ROM-6383 (1998-5), pp.1 ~ 18

気液二相流など移動、変形体のダイナミクスの計測を目的として、通常の医療用X線CTの数百倍でスキャンできる高速X線CTの開発を進めている。まず、測定精度を評価するため、既知の孔径を持つアクリル模型を一定速度で移動させ、これをCT撮影して画像再構成し、移動速度と形状の再現性の関係を求めた結果、本装置が流速1 m以下で移動する直径2-3mm以上の気泡分布計測に対して有効であることが分かった。その後、水 - 空気の気液二相流に適用し、従来計測が困難であった断面内2次元相分布の時間変化が可視化できることを示した。

84. **Dynamic Behavior of Gas-Liquid Interface in Capillary Flow under Reduced-Gravity Conditions**

*N. ICHIKAWA, M. MISAWA, M. L. FORD, T. TADA (Nissan Motor Co., Ltd.), M. KAWAJI (Univ. of Toronto)*

Proc. 3rd International Conf. On Multiphase Flow CD-ROM-430 (1998-6), pp.1 ~ 8

航空機を用いた微小重力環境下において、管内の毛细管流れの気液界面の形状を観察した。壁面の初期状態が濡れている時と乾いている時、界面の移動速度による依存性、界面が毛细管力で動いている時とポンプによる外力で動いている時等、様々な条件下での界面形状の違いを整理した。界面形状はキャピラリー数で整理できること、外力駆動と毛细管力駆動で形状に

わずかな差ができること等が明らかになった。

85. **成層圏ソーラー飛行船 (環境監視と高度情報化対応)**

恩田 昌彦

月刊誌「エネルギーフォーラム」44-522 (1998-6), pp.169

成層圏下層の地上20kmに長期間滞留し、太陽光を使って風に対抗して位置を保持するLTA型のプラットフォームは地球環境の保全のための監視、汚染物質の大気中からの除去、交通流の広域監視、雹の粒径制御など局地気象の制御と観測、ミリ波の通信への利用拡大等により、人工衛星の軌道の高度では実現できない微弱の高周波数帯域の電波中継を可能とする。このプラットフォームの規模と機体構成を紹介する。

86. **Fast X-ray CT measurement of cell and shroud Taylor bubbles in rod bundles**

*A. J. VAN DER LINDEN (Univ. of Twente, The Netherlands), M. MISAWA, M. AKAI, H. MONJI<sup>1</sup>, G. MATSUI<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Univ. of Tsukuba)*

Proc. 1st European-Japanese two-phase flow group meeting, Portoroz, Slovenia (1998-6), pp.1 ~ 9

高速X線CTはX線の発生を電氣的に制御するため、4ミリ秒で一断面の撮影を完了する高速性を有する。流路断面内の瞬時的な相分布データは、従来の局所プローブでは捉えられない多次元特性を提供するため、熱交換器バンドル内など複雑な流路形状内の二相流計測では特に有効である。そのため、内径42mmの管内に燃料棒等を模擬した3本のロッドをピッチと位置を変えて設置し、この流路を流れる気液二相流を高速X線CTにより、非接触で撮影した。その結果、ロッドと干渉しながら上昇するスラグ気泡の多次元挙動データが得られ、複雑な流路内のボイド率計測への有効性が示された。

87. **PIV measurement and analysis of flow patterns around moving bubbles in vertical channels**

*M. MISAWA, N. ICHIKAWA*

Proc. 3rd International Conference on Multiphase Flow, Lyon, France CD-ROM-291 (1998-6), pp.1 ~ 8

化学工業や鉄鋼プロセスなど極限環境下で流体を駆動する動力機器の中には、腐食性や温度制限をうけるため通常のポンプ駆動が困難で、ガスの吹き込みによって循環駆動力を生み出している。これらのシステムにおいて、気泡から流体への運動量伝達を最適化するためには、発生する気泡径や分布を制御する必要がある。本研究では速度分布の2次元計測法として有効な

PIV法を二相流に適用し、管内を上昇する気泡周りの速度分布を流路の高さ方向で計測し、気泡発生位置、ガス流量、気泡形態と流体の速度増加の関係を求め、運動量の伝達効率を評価するパラメータを提案した。

**88. Bubble detachment and motion in a flowing liquid**

A. KARIYASAKI (Univ. of Fukuoka), M. KAWAJI (Univ. of Toronto, Canada), M. MISAWA, N. ICHIKAWA

Proc. 3rd International Conference on Multiphase Flow, Lyon, France CD-ROM-609 (1998-6), pp.1 ~ 7

平面内のノズルから発生する単一気泡の離脱径と離脱後の移動経路を予測するモデルを提案した。このモデルではせん断力による気泡変形を考慮し、だ円変形に適した抗力係数を採用している。モデルの妥当性を検証するために、地上重力および浮力の働かない微小重力下において、流体のせん断勾配を変化させ、気泡離脱径と気泡重心の移動経路を求める実験を行い、モデルによる予測結果と比較した。この結果、予測と実験結果がよく一致していることが確認された。さらに、同モデルを用い、流体物性、重力加速度に対する気泡運動の感度解析を行った。

**89. High Altitude Powered Balloon Launching for Stratospheric Shuttling Test**

M. ONDA

Proc. International Airship Convention and Exhibition (1998-6), pp.117 ~ 126

成層圏プラットフォームとして長期間、地上20kmに滞留して、地球環境保全や高度情報化社会の創成に資する成層圏動力気球の打上げから、海上回収にいたる上昇と下降過程での気球の制御法を検証するための実験を日立市沖で開始した。基本的な制御方策は気球内圧を飛行高度にかかわらず、常に一定に保ち満膨張状態を維持するようガスの出入を制御する。

**90. 高効率レクテナの開発と無人飛行船滞空実験への応用**

藤野 義之<sup>1</sup>, 藤田 正晴<sup>1</sup>, 賀谷 信之 (神戸大学), 恩田 昌彦, 富田一正 ((株)イー・イー・エス) (<sup>1</sup>電信総合研究所)

通信総合研究所季報 44-3 (1998-9), pp.139 ~ 160

マイクロ波電力伝送技術が最も効果を発揮する移動体へのパワー供給は百数十ワットの電力伝送が最大であるが、何らかの方法で高出力化や更なる高効率化を図り、当該技術が実用に耐えうることを示す必要がある。このため、ETHER実験においては移動体へのキ

ロワットクラスの送電を行い、実用化に向けた指針を示すこととした。採用した空中プラットフォーム技術は、成層圏無線中継システムにも適用可能な機体技術で、紹介する本実験はこのプラットフォームの基礎技術の低空での実証実験として位置づけられる。

**91. Bimorph-Type Optical Actuator Using PLZT Elements (Position Control of Optical Actuator by On-Off Control)**

Y. MORIKAWA, T. NAKADA (Tokyo Denki Univ. )

JSME International Journal 41-4 (1998-12), pp.860 ~ 866

PLZT素子を用いた光アクチュエータは光の持つエネルギーと情報を利用したアクチュエータで、耐電磁ノイズ性などの優れた性質を有している。PLZT素子は紫外光が照射されると光歪効果により機械的歪みを発生するが、その変化は微小なのでバイモルフ構造を用いている。この光アクチュエータに対して光照射を制御する機械式シャッタが比較的大きな時間遅れを有している為に、単純なオン・オフ制御ではうまく制御できない。そこで本稿では、バイモルフ型光アクチュエータの特性とシャッタの特性を考慮したオン・オフ制御方法の提案をし、その速応性、制御精度に於ける有効性を実験により検証した結果を報告する。

**92. 掃引作業における移動ロボット群の動作計画**

倉林 大輔<sup>1</sup>, 太田 順<sup>1</sup>, 新井 民夫<sup>1</sup>, 吉田 英一 ( <sup>1</sup>東京大学 )

日本ロボット学会誌 16-2 (1998-3), pp.181 ~ 188

本論文では、移動ロボット群によって2次元の領域を”覆う”協調掃引作業のためのオフライン動作計画手法を構築する。ロボット群により作業を効率的に行うために、(1)作業時間の評価、(2)作業時間が適切となる経路の生成、の2つの課題を解決する。ロボットの作業時間はその移動量に比例すると考えられるので、経路長によって作業時間を評価する。この経路を各ロボットに分配することで、各ロボットに対する動作計画を実現した。シミュレーションにより、提案手法の有効性を確認した。

**93. 多数の移動ロボットの局所的通信システムの性能評価 (大域的通信との比較)**

吉田 英一, 新井 民夫<sup>1</sup>, 太田 順<sup>1</sup> ( <sup>1</sup>東京大学 )

日本機械学会論文集C編, 64-619 (1998-3) pp.228 ~ 233

分散移動ロボットシステムの協調にどのようなロボット間通信を用いるかについて、解析的に指標を与える。局所・大域通信の効率を、複数ロボットへの情報

伝達時間の解析を用いて評価する。局所通信ではロボット間の情報伝搬の解析、大域通信では時分割通信の解析により情報伝達時間が求められる。比較の結果、局所通信は複数ロボットが協調作業を分散的に実行する際に有効であることが示された。

94. **Local Communicaton of Multiple Mobile Robots:Design of Optimal Communication Area for Cooperative Task**

*E. YOSHIDA, T. ARAI<sup>1</sup>, J. OTA<sup>1</sup> ('Univ. of Tokyo)*

*Advanced Robotics*, 11-8 (1998-5), pp.759 ~ 779

複数の移動ロボットが協調を行う際に用いる局所的な通信を効率化するための、ロボットの行動の新しい設計方法を述べる。多数の移動ロボットの協調作業には通信負荷の軽減・単純な実現といった特徴を持つ局所的な通信が用いられる。ここでは単純な群行動を取り入れることにより、多数のロボットの通信効率が改善され、情報伝達時間が短縮されることを示す。また、伝達時間を最小化する最適な群規模を解析的に求め、その有効性を計算機シミュレーションにより確認した。

95. **Experiment of Self-repairing Modular Machine**

*E. YOSHIDA, S. MURATA, K. TOMITA, H. KUROKAWA, S. KOKAJI*

*Distributed Autonomous Robotic Systems 3* (1998-5), pp.119 ~ 128

機械システムの自己組立と自己修復機能の有効性を、実験を通して明らかにする。これらの自己組立・自己修復の実験を、局所情報のみを用いたアルゴリズムに基づき、均質な可変構造2次元ユニットを用いて行った。その結果、10個以上のユニットを用いた組立と、故障ユニット切り放しによる修復に成功した。以上に加え、現在開発中の3次元ユニットについても述べる。

96. **A 3-D Self-Reconfigurable Structure**

*S. MURATA, H. KUROKAWA, E. YOSHIDA, K. TOMITA, S. KOKAJI*

*Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation* (1998-5), pp.432 ~ 439

自在に結合関係を変えられる3次元ユニットを開発した。本報告では3次元ユニットの基本構造、組み替えの手順、ユニットの詳細設計について説明する。さらに所望の構造物を自動的に組み立てるための均質型自己組立アルゴリズムを提案し、シミュレーション結果をコンピューターグラフィクスで示す。

97. **Local Communicaton of Multiple Mobile Robots:Design of Optimal Communication Area for Cooperative Task**

*E. YOSHIDA, M. YAMAMOTO<sup>1</sup>, T. ARAI<sup>1</sup>, J. OTA<sup>1</sup> ('Univ. of Tokyo)*

*Journal of Robotic Systems*, 15-7 (1998-7), pp.407 ~ 419

多数のロボットの協調作業においては、局所的な通信が有効となる。その通信範囲を解析に基づいて設計する手法を提案する。作業に対するロボット間の通信の情報伝達の効率を伝達時間を用いて評価し、これを最小とする最適な通信範囲を解析的に導出する。この設計法はさまざまな協調作業に対して適用できることも示される。本手法の有効性は、多数のロボットの計算機シミュレーションと、実機による実験により確認された。

98. **The Algebraic Under Constraint Solver as a Design Tool**

*H. SAWADA*

*Proceedings of IMACS ACA '98,*  
<http://math.unm.edu/ACA/1998/sessions/industry/sawada/index.html> (1998-8)

過少代数制約評価系を用いた設計支援アプローチの有用性について述べる。過少代数制約評価系は数式処理部と数値計算部から構成され、前者では互いに矛盾する制約条件の特定、後者では制約条件を満足する数値解の計算が行われる。これを用いることにより、設計者は設計パラメータの決定あるいは設計変更を行うために必要な情報を得ることができる。応用例として、直動型ロボットハンドの設計問題および歯車箱のレイアウト問題を取り上げる。

99. **Qualitative Reasoning at the Early Design Stage**

*H. SAWADA, X.-T. YAN (Univ. of Strathclyde, U.K.)*

*Proceedings of the 13th Biennial European Conference on Artificial Intelligence, Workshop W5: MBS & QR* (1998-8), pp.7 ~ 11

機械設計において与えられた定性的な要求を取り扱う方法について提案する。この方法では、各定性的要求についてその限界点を示す設計変数を導入することにより、定性的要求を定量的な表現方法で記述する。新しく導入された変数は、その定性的な要求が十分に明確になるまで具体的な値は割り当てられることなく変数のまま保留され、最終的に制約評価系によって評価される。これは人間の設計者が定性的情報を取り扱う方法に則したものであり、初期設計における有効な支援を提供するものである。

### 100. A Distributed Reconfiguration Method for 3-D Homogeneous Structure

E. YOSHIDA, S. MURATA, H. KUROKAWA, K. TOMITA, S. KOKAJI

Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (1998-10) pp.852 ~ 859,

多数の均質な機械ユニットからなる3次元構造の分散的な再構成手法を提案する。確率的緩和手法により、システムの持つ多数の運動自由度から目的とする構造へ収束する運動を実現することが可能になった。提案した手法は、各ユニットは同じハードウェア・ソフトウェアにより動作するように実現されており、ユニットは全体のどの部分でも担当することができる。手法の有効性は、シミュレーションにより確認された。

### 101. Constraint-Based Design

H. SAWADA

Technical Report, CAD Centre, University of Strathclyde, CADC/98-11/R/04 (1998-11)

設計とは、与えられた要求仕様を満足する製品を作り出すために必要なすべての情報を生成する過程として定義される。したがって、与えられた要求仕様を制約条件とみなすことによって、設計問題を制約充足問題として定式化することが可能である。本論文では、このような観点に基づいた設計支援アプローチとそれに応用可能な代数的手法について述べる。

### 102. 自動運転システムにおける制御アルゴリズム

津川 定之

自動車技術 52-2 (1998-2), pp.28 ~ 33

自動運転システムにおける車両の操舵（ラテラル）制御アルゴリズムと車両群内の速度・車間距離（ロンジチュージナル）制御アルゴリズムを概観する。操舵制御ではコース追従、レーン変更、先行車追従のアルゴリズムを、速度・車間距離制御では車両群走行とアダプティブクルーズコントロールのアルゴリズムを紹介している。

### 103. 仮想車両を用いた車両群の合流制御

宇野 篤也（筑波大学連携大学院）、阪口 健、津川 定之

システム制御情報学会論文誌 12-2 (1998-5), pp.136 ~ 138

本速報では安全と効率の両立を目的として、高速道路における合流制御アルゴリズムを提案する。合流車両は、本線を走行する車両を自車が走行する車線上に投影して生成した仮想車両に対してロンジチューディナル制御を行うことで合流を行う。仮想車両の概念によって合流路における合流と車線変更時の合流を同じアルゴリズムで扱うことが可能となり、シミュレーシ

ョンでその有効性を確認した。

### 104. An Algorithm for Merging Control of Vehicles on Highways

T. SAKAGUTI, A. UNO (Univ. of Tsukuba, Graduate School), S. TSUGAWA

1998 JSAE Spring Convention Proceedings 984 (1998-5), pp.85 ~ 88

高速道路において車両群に合流制御を適用することは、安全性を増し、渋滞を減少させるのに大いに役立つと考えられている。我々は、仮想車両の概念を導入することによって、ランプにおける合流と車線変更における合流を同一のアルゴリズムで行える方法を提案しており、その際、車車間通信を使用している。本発表では、シミュレーションにより、本アルゴリズムの有効性を示す。

### 105. Application of a Vision-Based Lateral Control Algorithm to Lane Departure Detection

S. KATO, K. TOMITA, S. TSUGAWA

JSAE Spring Convention English Organized Sessions Proceedings 984-9831568 (1998-5), pp.77 ~ 80

本論文では、路面上のレーンマーカや路肩を視覚システムを用いて検出し、これに沿って走行するためのプレビューラテラル制御アルゴリズムを、レーン逸脱の検出に応用することを提案した。本アルゴリズムは、車載の視覚システムで検出したレーンマーカや路端に基づいて操舵量を求め、現在ドライバーが運転している操舵量と比較することによって、レーン逸脱を検出するものである。

### 106. Research and Development of Automated Vehicle Guidance: Technological Aspect

S. TSUGAWA

Proceedings of AVG'98 Demo Arena Discussion (1998-6)

自動車交通にオートメーションを導入して自動運転システムを実現するための技術と発展シナリオの作成の難しさと重要性を紹介した。技術には、レーン、障害物、車両の運動パラメタなどのセンシング、ラテラル制御とロンジチュージナル制御、路車間通信と車車間通信があること、自動車交通の安全と効率の両立を目的とした、柔軟な協調走行を目指すべきことを述べた。

### 107. 21世紀の自動車交通システム

高羽 禎雄（東京工科大学）、津川 定之、藤井 治樹（(財)自動車走行電子技術協会）、桑原 雅夫（東京大学）

(株)工業調査会(1998-8)

ITS(高度道路交通システム)の一分野であるAVCSS(先進車両制御安全システム)の部分と未来のシナリオの部分を担当し、運転支援システムと自動運転システムについてその自動車交通における重要性、その歴史、現在の技術について概観した。

108. 黄信号時のドライバ挙動のばらつきとその定量化

重田 清子, 津川 定之

計測自動制御学会論文集 34-8 (1998-8), pp.1112 ~ 1118

ドライバの挙動のばらつきが事故の遠因の一つとなるという観点から、挙動のばらつきをエントロピで定量化することを提案した。黄信号時に交差点に流入する個々の車両の位置と速度、交差点通過の有無を計測し、通過車両群と停止車両群の混在する領域を求め、この領域内のばらつきをエントロピで定量化した。ドライバ挙動のばらつきと道路交通の危険に正の相関があると仮定すれば、この解析事例は車両の速度のばらつきによる危険より通過・停止のばらつきによる危険の方が大きいことを示している。

109. Optimal Design of Vision System for Lateral Control of Autonomous Vehicle

S. TSUGAWA, M. YAMAGIYA (Univ. Tsukuba, Graduate School), K. TOMITA

Proceedings of 4th International Symposium on Advanced Vehicle Control 1998 (1998-9), pp.369 ~ 374

マシンビジョンでレーンを検出してラテラル制御を行う自動運転システムにおけるマシンビジョンの視野の最適化をシミュレーションで設計した。著者らの提案によるラテラル制御アルゴリズムを用いたとき、最適視野をコース追従性と横加速度的の小ささで評価し、最適視野は、車両の速度によらず、車両から10mから20mまでであることを示した。

110. Lane Departure Detection with an Onboard Vision System

S. KATO, K. TOMITA, S. TSUGAWA

Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium 1998 1-0180 (1998-10), pp.74 ~ 79

本論文では、ビジョンを用いてレーンマーカを検出し、これに沿って走行するためのラテラル制御アルゴリズムにより操舵量を算出し、実際のドライバの操舵量との比較を行うことで、車線逸脱を検出するシステムについて述べた。また、シミュレーションと実験車両による走行実験により、システムの有効性を述べ

た。

111. Evaluation of Lane Marking Detection with Machine Vision under Poor Visibility

S. KOBAYASHI (Koito Manufacturing), S. SHIMAZAKI (Hitachi Denshi), A. FUJIYA (Hitachi Chemical), A. OKUNO (Mazda Motor), S. TSUGAWA

Proceedings of 5th ITS World Congress (CD-ROM) (1998-10)

霧や夜間などの低視程状態下においてマシンビジョンでレーンマーカを検出する場合の視程と検出可能距離の関係を3種類のレーンマーカの塗料の材質に対して実験的に調べた。霧中における視程は、レーザ光を1mの光路を往復させて受光した光量ともとの光量をそれぞれ光電変換した値の比で表現した。

112. A Lateral Control Algorithm for Vision-Based Vehicles with a Moving Target in the Field of View

S. TSUGAWA, H. MORI (Univ. Tsukuba, Graduate School), S. KATO

Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium 1998 1-0125 (1998-10), pp.41 ~ 45

視野内に設定した目標点を目指して走行する、自動運転システムにおけるラテラル制御アルゴリズムを提案し、その特性と有効性をシミュレーションで調べた。目標点を円周に沿って移動させる場合の特性を定常特性、目標点をステップ状に移動させた場合の特性を過渡特性として、定常偏差、横加速度的の大きさ、最適な目標点設置位置を求めた。目標点を車両から10~15mにおけば、定常偏差、横加速度的の両面から実行可能なラテラル制御が求められる。

113. 特徴解消による軸対称鍛造製品の工程設計エキスパートシステム

大橋 隆弘, 本村 貢(早稲田大学)

日本機械学会論文集 64-618 (1998-2), pp.707 ~ 712

軸対称鋼熱間鍛造品を対象として特徴解消による工程設計エキスパートシステムを開発した。鍛造工程を素材に形状的特徴を付加していく過程であると捉え、逆に工程設計を製品から形状的特徴を解消していく過程であると捉えた。その原則の下、一対比較法によって、加工優先順序の逆順として形状特徴の解消優先順序を計算し、事例ベース推論によって工程設計を行った。一対比較のためのデータは専門家に対するアンケートにより収集し、ファジィ言語を用いてコンピュータ上に実装した。最後に本システムによる工程設計結果を示した。

114. 制約黒板を用いた軸対称冷間鍛造品の工程設計  
エキスパートシステム  
大橋 隆弘, 本村 貢 (早稲田大学)  
日本機械学会論文集 64-620 (1998-4),  
pp.1450-1455  
工程設計を鍛造工程の逆過程であると捉え、加工後形状の一部を加工前形状に置換することで工程設計を行った。実際の加工を仮想的な工程の集まりと捉え、その仮想工程を単位として工程設計を行う。仮想工程の設計には事例を用いた。事例は、加工後形状を検索キーとして持ち、事例の適用の可否加工前形状、前形状の導出方法を組にしたデータセットである。複数の仮想工程が複合した工程を推論する際に、各仮想工程間の情報を交換する必要があり、共通のワーキングメモリである制約黒板を用いるアルゴリズムを開発した。
115. **Adaptive Space-Time GLS FEM for 2D Advection-Diffusion Problem**  
A. TEZUKA  
Proceedings of Fourth Japan-US Symposium on Finite Element Methods in Large-Scale Computational Fluid Dynamics (1998-4), pp.115 ~ 118  
移流拡散問題の有限要素解析では重み付き残差形の移流項に現れるskew-symmetric項のために、数値的不安定性が生じる。この数値的不安定性の除去のため、空間に関する解析不安定性の除去のためにはAdaptive法及びGLS (Galerkin/Least-Squares) 法、時間に関する解析不安定性の除去のためにはSpace-time法を導入し、二次元移流拡散問題に適応し、有効な結果を得たので発表する。
116. **Computer Aided Process Planning for Axis-symmetric Cold Forging Products by Feature Elimination**  
T. OHASHI, S. IMAMURA, T. SHIMIZU, M. MOTOMURA (Univ. of Waseda)  
Proc. of 14th International Conference on CAPE (1998-9), pp.313 ~ 318  
断面が自由曲線で構成される軸対称製品の鍛造工程プロセスプランニングシステムについて紹介する。工程設計は製品形状から鍛造により形成可能な形状特徴を消去する作業を繰り返し、ブランク材形状にいたる過程の逆工程とみなしている。対象形状は対称軸を含む断面形状により表現し、断面形状は隣り合う点を結ぶベクトル列で表現する。
117. **CAD based Multi Agent Machine Assembly/Disassembly Planning**  
H. MASAKI, S. IMAMURA  
11th International Conference on Applications of Prolog (1998-9), pp.130 ~ 135  
これはエージェントの協調動作に基づいた機械の分解/組立の自動プランニングに関する研究である。分解/組立プランニングは、生産や設計検証において重要な役割を果たす。本システムは2次元のDXFファイルから図面を読み込み、そこから半自動的に部品やその接続関係を取り出す。そして、部品の組立/分解動作を表すエージェントの協調動作により、自動的に機械機構の分解/組立手順を生成することができる。
118. ラグランジュ的な粒子速度の関係を用いた2粒子対確率過程モデルによる変動スカラー場の数値シミュレーション  
鈴木 健, 酒井 康彦<sup>1</sup>, 中村 育雄<sup>1</sup>, 角田 博之 (山梨大学)(<sup>1</sup>名古屋大学)  
日本機械学会論文集B編 64-625 (1998-9), pp.2828 ~ 2835  
2粒子対確率過程モデルは様々な応用が試みられているが、従来のモデルでは2粒子の間の速度相関にオイラー場における速度相関関数を用いており、オイラーとラグランジュの立場が混在していた。本論文ではラグランジュの立場による2粒子の速度の間の関係を用いてラグランジュの立場で一貫したモデルを構築した。本論文で提案したモデルを用いて格子乱流中の連続点源および連続線源による変動スカラー場のシミュレーションを行い、実験結果と比較した結果、2次のモーメントまでの量が一致し、モデルの有効性が確認された。
119. 有限要素解析におけるメッシュコントロール  
手塚 明  
日本船用機関学会誌33-4 (1998-10), pp.271 ~ 278  
有限要素法における自動要素分割及びアダプティブメッシュについて、基礎的理論、アルゴリズムについて解説を行う。自動要素分割についてはドロネイ網変換法及びアドバンスングフロント法との差異、アダプティブメッシュについてはr法、h法、p法のそれぞれの特徴、アダプティブメッシュリファインメントとアダプティブリメッシングとの違い、さらに一種のメッシュレス法として物体を直接、スキャンするボクセル型自動要素分割法の話題についても触れる。
120. 発電システムのライフサイクルにおける窒素酸化物、硫黄酸化物排出量  
野村 昇, 稲葉 敦 (資源環境技術総合研究

所), 外岡 豊 (埼玉大学), 赤井 誠

エネルギー・資源 19-6 (1998-11), pp.551  
~ 557

近年の地球環境への関心の高まりの中で、人間活動が環境に直接与える影響のみでなく、間接的な影響をも含め総合的に評価を行う必要性が認識されるようになってきている。本報では、エネルギーシステムの中核となる大規模なシステムである火力発電システムと自然エネルギーによる発電システムについて、環境へのインベントリ評価の代表的な指標である窒素酸化物、硫黄酸化物の間接的な影響を含めた発電システム全体でのライフサイクルにおける排出量の推定結果を報告し、エネルギー投入量、二酸化炭素排出量との比較検討を行った。

#### 121. Machine Assembly/Disassembly Planning by Cooperative Agents

S. IMAMURA

JSME International Journal 41-4 (1998-12),  
pp.947 ~ 952

エージェント群の協調作業による機械の組立分解プランニングシステムを開発した。これは、機械部品の接続データをもとに、故障部品の交換手順や機械全体の組立、分解手順を求めることができるものである。

#### 122. ランダムフーリエモード法によるブルーム変動スカラー場の数値シミュレーション

酒井 康彦<sup>1</sup>, 鈴木 健, 中村 育雄<sup>1</sup> (<sup>1</sup>名古屋大学)

日本機械学会論文集 B編 64-628 (1998-12), pp.3970 ~ 3977

ラグランジュ的な乱流拡散モデルとしてランダムフーリエモード法による2粒子対モデルを構成した。フーリエモード法はエネルギースペクトルの各モードに着目して任意位置の速度を計算する方法であり、本報では従来一様等方性乱流で用いられていたこの手法を流れ方向に乱れが減衰する格子乱流場に拡張した。この速度場を用いた2粒子対逆拡散モデルによって格子乱流中の連続線源及び連続点源によるスカラー拡散場のシミュレーションを行った。計算結果は実験結果と比較され、どちらの源の場合にもよく一致することが示された。

#### 123. 風力発電の現状と展望

二井 義則

電力マンスリー 535 (1998-1), pp.6 ~ 7

1994年12月の「新エネルギー導入大綱」の決定、1997年4月の「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」の公布に伴う政府の支援により、風力発電に関しても、幾つもの地方自治体で導入に向けた動き

が活発となり、新たに、売電ビジネスも始まっている。本稿では初めに、海外の状況を概観し、次に国内のこれまでの風力開発の動向及び普及の状況を紹介した。最後に、国内の風力発電の課題と今後の方向を述べた。

#### 124. 野島断層平林地区の断層ガウジのキャラクターゼーション

榎本 祐嗣, 足助 富美雄, 鄭 重 ((株)ジオサイエンス), 石垣 博行<sup>1</sup>, 松井 厚憲<sup>1</sup>, 水田 幸男 ((株)日本電気) (<sup>1</sup>姫路工業大学)  
地球21 (1998-4), pp.202 ~ 207

野島断層平林地区の断層のボーリングコアの残留磁化分析などを行い、ここで所見された黒変硬化ラメラ状ガウジが兵庫県南部地震に伴った発光起源のものであると主張した。

#### 125. New materials in automotive tribology

Y. ENOMOTO, T. YAMAMOTO (Tokyo Univ. of Agriculture & Technology)

Tribology Letters 5 (1998-5), pp.13 ~ 14

自動車の駆動要素の条件によってどのような材料が適用されていて、今後の展開に伴い期待される新材料の動向について解説した。

#### 126. Precompetitive Processing and Characterization of Functionally Gradient Materials

Y. ENOMOTO, K. ICHIKAWA, M. TOKITA (Sumitomo Coal Mining Co., LTD), S. J. DAPKUNAS<sup>1</sup>, D. T. SMITH<sup>1</sup> (<sup>1</sup>National Institute of Standards and Technology)

Cooperating Internationally: The U.S.-Japan Civil Industrial Technologies (CIT) Arrangement (1998-5), pp.8-1 ~ 8-18

日米間で実施された民需産業技術協力プロジェクトの研究成果を発表する日米会議がミシガン州アナーバーで開催され、平成8年度から実施した傾斜機能性材料の競争前加工技術プロジェクトの研究成果を発表した。背景、研究目標、研究体制、放電プラズマ焼結プロセス(放電プラズマ焼結とは何か、放電プラズマ焼結機構) 放電プラズマ焼結のFGMへの応用、インデントーションを用いたFGMの機械的性質の解析、及び将来展望について概説した。

#### 127. 風力発電システムの標準化の動向(1)-IEC/TC88と国内の活動-

二井 義則

風力エネルギー 22-2 (1998-6), pp.24 ~ 26

風力発電システムの標準化は、当該技術の信頼性、安全性、経済性、環境適合性等の側面から、風力の普

及拡大に貢献する重要な役割を果たしつつあり、IEC (国際電気標準会議) /TC88 (風力発電システムの専門委員会) による国際規格の作成が、我が国も協力して進められている。標準化は重要であるが見え難いところもあることから、本稿では、これまでのIEC/TC88及び国内における標準化活動の概要、背景を紹介した。

128. 風力発電システムの標準化の動向(2)-小型風力発電システムの安全基準について-

二井 義則

風力エネルギー 22-3 (1998-9), pp.51 ~ 53

風力発電システムの国際標準化の作業はIEC (国際電気標準会議) /TC88 (風力発電システムの専門委員会) が、我が国も参加して進めている。IEC 61400-2(1996)「小型風力発電システムの安全基準」は、1995年9月にFDISとしてサーキュレートされ、同年12月に国際規格となった。本文書は今後、翻訳JISとして国内で出版されていく予定となっている。本稿では、「小型風力発電システムの安全基準」の概要、背景等を紹介した。

129. **Electron emission and electrification of ceramics during sliding**

Y. ENOMOTO, H. OHUTI (Sony Co.)

Proceedings of the First Asia International Conference on Tribology 2 (1998-10), pp.669 ~ 672

アルミナ、マグネシアセラミックスの摩擦試験で、摩擦発熱により刺激を受けて放射される電子強度ならびにそれに伴う表面帯電の効果を大気中で調べた。その結果、摩擦温度が250℃を越えると顕著なエキソ電子放射が起こることを確認した。

130. **Research and Development on Micromachines at the Mechanical Engineering Laboratory - Today and tomorrow-**

Y. ENOMOTO, M. TANAKA, Y. ISHIKAWA, Y. TATSUE

Proceedings of the Fourth International Micromachine Symposium (1998-10), pp.135 ~ 140

機械技術研究所のマイクロマシンの研究開発における、機械加工のダウンサイジングならびにMEMS関連の研究の現状とこんご重点をおく方向としてマイクロファクトリーの概念について展望した。

131. **The electrification of flowing gases by mechanical abrasion of mineral surfaces**

L. SCUDIERO<sup>1</sup>, J. T. DICKINSON<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Washington State Univ.), Y. ENOMOTO

Physics and Chemistry of Minerals 25 (1998-12), pp.566 ~ 573

石英など鉱物結晶を空気やアルゴンを流しながらダイヤモンド針で引っ掻き破壊試験を行った。その結果、結晶の破壊にともなって放射された負の荷電粒子(主に電子)によりガスが負に強く帯電することを確かめた。

132. **Some characteristics of PZT films produced by Jet Molding System**

M. ICHIKI, J. AKEDO, ANDREAS SCHROTH (NEDO), R. MAEDA, Y. ISHIKAWA

Journal of the Korean Physical Society 32 (1998-2), pp.S1501 ~ S1503

光アークチュエータとその特性について素子作成をも含めた検討を行った。チタン酸ジルコン酸ランタン鉛セラミックスをバルク焼結法と超微粒子堆積法によって作成し、その構造的特性をX線回折法及び電子顕微鏡によって観察した。

133. 生物の翼に働く空気力の計算法

砂田 茂, 劉 浩 (名古屋工業大学)

計算工学学会誌 3-1 (1998-3), pp.16 ~ 21

生物の羽ばたき翼に働く空気力、及びその空気力によって消費されるパワーの評価方法としては、航空学における固定翼、回転翼に対して確立した方法を羽ばたき翼用に手直しした幾つかの方法が用いられてきた。従来用いられてきた方法に加え、筆者のうちの1人が新たに開発した運動量理論にもとづく方法、もう1人の筆者が開発してきた数値計算力学による方法について述べる。

134. **Friction and Pull-off Forces on Submicron-size Asperities**

Y. ANDO, J. INO (Kubota Corp.)

Wear 216 (1998-4), pp.115 ~ 122

シリコン表面に、突起配列パターンとともに、3µm程度の間隔をあけて先端の曲率半径が異なる複数の独立した突起を作製し、摩擦力・引き離し力と突起先端部のナノメートルスケールの形状の影響を検討した。その結果、接触面積と同程度の狭い範囲を近似して算出した曲率半径には、摩擦力・引き離し力は比例しなかった。しかし、接触面積よりも大きな範囲を近似して求めた曲率半径には、これらの力が比例することが明らかになった。

135. 微小な摩擦力の測定技術

安藤 泰久

トライボロジスト 43-7 (1998-7), pp.587 ~ 592

微小な摩擦力を測定する上では、精度良く微小な力を検出するだけではなく、表面間に作用する引力を測定しそれを隠れた垂直荷重として評価する必要がある。まず、精度良く微小な力を測定するためには、板ばねと変位計を組み合わせる方法が有効である。板ばねの寸法が極めて小さくなったときには、板ばねの角度変化を検出する方が有利になる。また引力は、引き離し力を測定することから評価可能である。

136. ナノスケール機械加工・評価システムの開発

芦田 極, 森田 昇 (千葉大学)

機械技術 46-7 (1998-7), pp.100 ~ 104

ナノスケールの機械加工を実現するためには、新たな概念を持って加工システムを開発し、機械加工の加工限界、制御手法を探っていくことが必要である。そこで、筆者らは摩擦力顕微鏡 (FFM) の機構に着目して、ナノスケール機械加工・評価システムを開発した。本稿では、まず加工の原理と開発のねらいを解説する。つぎに加工例を示し、本システムの加工特性と可能性について述べる。

137. **The relationship between dragonfly wing structure and torsional deformation.**

S. SUNADA, LIJIANG ZENG (Tsinghua Univ.),  
K. KAWACHI (Univ. of Tokyo)

Journal of theoretical biology 193 (1998-8),  
pp.39 ~ 45

トンボの翼は航空機の翼の様な流線型ではなく、太い支脈が同一平面上にないためにギザギザと折れ曲がっている。翼がこの様に折れ曲がっていることは、翼の曲げ剛性を高めるが、捻り剛性に対して影響を与えないとされてきた。本論文は、トンボの翼の様に薄く、かつ捻りモーメント軸に平行な変位が翼付け根で拘束されている場合には、翼の折れ曲がり捻り剛性も高めることを理論的に示した。

138. マイクロマシンとトライボロジー

安藤 泰久, 藤沢 悟, 榎本 祐嗣

表面科学 19-6 (1998-8), pp.385 ~ 391

マイクロマシンにおいては、質量が寸法の3乗に比例するのに対し、表面積が2乗に比例して減少していくため、相対的に表面の影響が大きくなりトライボロジーの問題が顕在化する。そこで、現在応用が考えられているマイクロマシンについて概観し、それらにおけるトライボロジー的な問題について、表面間に作用する凝着力 (液架橋力、ファンデルワールス力) や静電気力の影響を中心に解説した。

139. 原子間力顕微鏡一体型加工評価装置の開発 (第2報) - 微細加工中の水平分力測定 -

佐々木 源<sup>1</sup>, 芦田 極, 森田 昇<sup>1</sup>, 吉田 嘉太郎<sup>1</sup> (千葉大学)

砥粒加工学会誌 428 (1998-8), pp.322 ~ 326

ナノメータスケールの機械加工現象を理解することを目的に、高剛性の加工用カンチレバーを開発し、AFMに装着して微細な除去加工実験を行う。FFM機構を用いて切れ刃に作用する水平分力を測定し、加工後に加工痕の形状測定を行った結果、垂直荷重による材料除去形態の変化を観測した。また切れ刃に付着した切りくずをSEMで観察し、微小な切削が行われていることを確認した。

140. 大幅な省エネルギー効果が期待されるマイクロファクトリ

田中 誠

エネルギーフォーラム 525 (1998-9),  
pp.113

機械技術研究所が提案したマイクロファクトリの概要と、省エネルギー効果をもたらしたマイクロ旋盤の特徴を解説した。

141. 摩擦力顕微鏡機構を用いた極微細な機械加工の研究 (第1報, FFM一体型加工評価装置の試作)

芦田 極, 森田 昇<sup>1</sup>, 吉田 嘉太郎<sup>1</sup> (千葉大学)

日本機械学会論文集 C 編 64-626 (1998-10), pp.4072 ~ 4078

摩擦力顕微鏡の原理を利用して、1 ~ 100nmの加工単位でナノマシニング実験を行える加工システムを提案、試作した。本装置は加工用カンチレバーとAFM測定用カンチレバーの交換機構を有しており、深さ数十nm程度のナノ加工および加工痕形状のAFM測定が可能である。また、FFM機構を利用して加工中の水平分力を測定できる。深さ10nm程度のスクラッチ加工を行い、本システムがナノ加工現象の観測に有効であることを確認した。

142. 摩擦力顕微鏡機構を用いた極微細な機械加工の研究 (第2報, FFM一体型加工評価装置を用いた微細加工の特性)

芦田 極, 森田 昇<sup>1</sup>, 吉田 嘉太郎<sup>1</sup> (千葉大学)

日本機械学会論文集 C 編 64-626 (1998-10), pp.4079 ~ 4085

試作したFFM一体型加工評価装置を用いて単結晶シリコンの加工実験を行い、本装置の加工特性を明らかにした。まず、切れ刃の形状の違いによる加工痕形状

の変化および切れ刃摩耗による加工痕深さの現象を観測した。つぎに、線走査と面走査における加工痕深さの違いを、切れ刃側面の接触モデルにより説明した。そして、加工痕のSEM観察を行い、切りくずの形状から提案したモデルを裏打ちした。

143. **Location of an acoustic emission source in a radially loaded deep groove ball-bearing**

*D. NELIAS (Laboratoire de Mécanique des Contacts, UMR CNRS/INSA, FRANCE),  
T. YOSHIOKA*

Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part J : Journal of Engineering Tribology, London 212 (1998-4), pp.33 ~ 45

この論文は、玉軸受の運転中に発生するアコースティック・エミッション (AE) をシミュレートするために開発された軸受解析法について述べる。この計算機シミュレーションはAE法を用いた転がり疲れ起点の実験解析に有用である。シミュレーションの結果は、転がり疲れ損傷の出現以前に転がり疲れによる表面層欠陥を検出し、その位置を求めることができることを明らかにした。

144. **転がり軸受の異常診断技術と転がり軸受材料の評価技術の現状と今後の研究課題**

吉岡 武雄

トライボロジスト 43-6 (1998-6), pp.445 ~ 449

転がり軸受の異常診断技術と転がり軸受材料の評価技術について現状を調査し、異常診断技術に関しては摩耗粉分析による異常診断のデータベースの構築と複合センシング技術の創造が、材料評価技術では軸受鋼の非金属介在物評価法の確立がこの分野のニーズとして大きいことを明らかにした。そこで、それぞれの研究課題を追求するために研究会を設立した。これらの研究会の目的、活動状況などについて紹介した。

145. **Relationship between Acoustic Emission Source Position and Spalling Position in Radial Rolling Bearings**

*T. YOSHIOKA, H. MANO (Tokyo Univ. of Agriculture & Technology)*

Tribology for Energy Conservation --- Proceedings of 24th Leeds-Lyon Symposium on Tribology (1998-8), pp.413 ~ 422

ラジアル軸受について、開発した転がり疲れに付随するAE (Acoustic Emission) の発生位置を標定する方法を提案し、実験によりこの方法の妥当性を評価した。位置標定法は、AE発生時の軸受の負荷帯にある接触点をAE発生候補位置とするものである。実験では、

AE信号の他に、接触点を求めるのに内輪の回転信号と玉の公転信号を検出した。実験の結果が本標定法によるAE発生位置と転がり疲れによる離れの出現位置が正確に一致することを示した。これにより、本方法が妥当であることが実証された。

146. **Influence of Indentation Shape on Rolling Contact Fatigue**

*T. YOSHIOKA, A. KORENAGA, H. KAKISHIMA<sup>1</sup>, N. ITO<sup>1</sup>,  
E. KIMOTO<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Railway Technical Research Institute)*

Quarterly Report of RTRI 39-3 (1998-9), pp.132 ~ 135

転がり疲労は離れが接触表面の圧痕を起点としてしばしば発生する。スラスト玉軸受を模擬した試験軸受の軌道面に圧痕直径の異なる2種類の圧痕をつけ、転がり接触の繰り返しによって圧痕断面形状の変化ならびに疲れクラックの発生と進展を観測し、圧痕形状の相違が転がり疲れ現象に与える影響について論じた。

147. **D & E 「異常診断のための複合センシング技術に関する共同研究」委員会ならびに仮称「転がり軸受の寿命試験法の確立のための調査研究会」について**

吉岡 武雄

月刊トライボロジ 134 (1998-10), pp.30 ~ 31

「転がり軸受の異常診断技術と転がり軸受材料の評価技術に関する調査研究会 (略称: D & E 研究会)」の成果を引き継いで作られた4つの研究会のうちのD & E 「異常診断のための複合センシング技術に関する共同研究」委員会ならびに仮称「転がり軸受の寿命試験法の確立のための調査研究会」の現況について紹介した。

148. **Theoretical analysis of atomic-scale friction in frictional force microscopy**

*N. SASAKI<sup>1</sup>, M. TSUKADA<sup>1</sup>, S. FUJISAWA, Y. SUGAWARA<sup>2</sup>, S. MORITA<sup>2</sup>, K. KOBAYASHI (Ochanomizu Univ.) (<sup>1</sup>Tokyo Univ., <sup>2</sup>Osaka Univ.)*

Tribology Letters 4-0(1998-1), pp.125 ~ 128

2次元摩擦顕微鏡を用いてグラファイト劈開面と単一突起の探針との間に働く原子スケールの摩擦力を理論的に解析した。単原子探針を仮定したTomlinsonモデルを用いることにより、摩擦による探針の軌跡を決定する安定領域と不安定領域の分布図が得られた。更に、この分布と摩擦像の関係から導かれる摩擦像の物理的な意味について検討を行った。

**149. Load dependence of the frictional-force microscopy image pattern of the graphite surface**

N. SASAKI<sup>1</sup>, M. TSUKADA<sup>1</sup>, S. FUJISAWA, Y. SUGAWARA<sup>2</sup>, S. MORITA<sup>2</sup>, K. KOBAYASHI (Ochanomizu Univ.) (<sup>1</sup>Tokyo Univ., <sup>2</sup>Osaka Univ.)

Physical Review B 57-7 (1998-2), pp.3785 ~ 3786

2次元摩擦顕微鏡を用いてグラファイト劈開面と単一突起との間に働く摩擦力の荷重依存性を原子スケールでコンピュータシミュレーションと実験の両方で調べた。その結果、実験的に得られた2次元量子化摩擦現象の摩擦像の荷重増加による顕著な変化を、単原子摩擦を仮定したコンピュータシミュレーションで良く再現できた。この摩擦像の荷重による変化機構を単原子の運動と摩擦力の大きさを関連づけることにより解析した。

**150. Quantitative elasticity evaluation by contact resonance in an atomic force microscope**

K. YAMANAKA (Tohoku Univ.), S. NAKANO

Applied Physics A 661 (1998-3), pp.S313 ~ S318

ナノスケールでの材料の弾性率を評価する手法として、超音波原子間力顕微鏡を開発し、これを用いた定量的評価を行った。原子間力顕微鏡のカンチレバーに高次共振モードを励起する。被測定物の弾性率の違いが共振周波数の違いとなって現れ、これを用いて弾性率の評価が行える。複合材料の炭素繊維(直径0.007mm)の内部の弾性率の分布を可視化し、その弾性率の定量的な評価を検討した。

**151. Lattice disorder and density of states change of graphite surface by single ion impact**

H. OGISO<sup>1</sup>, W. MIZUTANI<sup>1</sup>, S. NAKANO, H. TOKUMOTO<sup>1</sup>, K. YAMANAKA (Tohoku Univ.) (<sup>1</sup>National Institute for Advanced Interdisciplinary Research (NAIR))

Applied Physics A 66-2(1998-3), pp.S1155 ~ S1158

グラファイトに対して、一個一個の高エネルギーイオンの衝突の影響が区別できるような、少量の注入量の照射を行った結果、STMのトンネル電流一定モードでは、隆起が観察されるが、AFMやノンコンタクトAFMでは、そのような隆起は観察されなかった。そのため、この隆起のような状態は、グラファイト電子の状態密度が変化したものと結論した。

**152. Estimation of Elastic Constants from Surface Acoustic Wave Velocity by Inverse Analysis using the Downhill Simplex Method**

H. SATO, H. NISHINO (Toppa Printing Co.), H.

CHO (Aoyama Gakuin Univ.), H. OGISO (National Institute for Advanced Interdisciplinary Research, Mechanical Engineering Laboratory), K. YAMANAKA (Tohoku Univ.)

Japanese Journal of Applied Physics 37 (1998-5), pp.3116 ~ 3119

弾性表面波は材料の表面近傍を伝播し、その音速は材料の表面近傍の弾性的性質を反映することから、表面の評価に用いられてきた。我々は弾性定数の評価のためモンテカルロ法とシンプレックス法を組み合わせた新しい逆解析法を開発した。そこで、我々は実験で得られたSAWの音速をよく再現する弾性定数を推定してSiの報告されている弾性定数と良く一致することを確認し、水晶の弾性定数の推定に適用した。

**153. 摩擦顕微鏡を用いた原子スケールのトライボロジー**

藤沢 悟, 森田 清三<sup>1</sup>, 菅原 康弘<sup>1</sup> (<sup>1</sup>大阪大学)

表面科学 19-6 (1998-6), pp.374 ~ 378

2次元摩擦顕微鏡を用いて、原子的に平坦なNaF(100)面と窒化珪素製単一突起の間での原子スケールのトライボロジーを調べた。荷重を増加すると、探針の2次元スティックスリップ運動の周期が格子周期から原子配列周期に変化するという特異な現象を見いだした。この周期変化は、荷重による表面緩和を導入したコンピュータシミュレーションから予想された表面・探針相互作用の周期の荷重依存性と定量的に良く一致した。

**154. Molecular Dynamics Study of Diffusion of Liquid Molecules near the Three-Phase Contact**

S. MATSUMOTO

Proc. of 7th AIAA/ASME Joint Thermophysics and Heat Transfer Conference 3 (1998-6), pp.179 ~ 184

固体上の微小液滴の分子動力学シミュレーションを行うことにより、気液界面が固体壁と接触する点の近傍での液体分子の拡散挙動を解析した。自己空間-時間相関関数を応用し、これを平均密度分布上にマッピングすることで、拡散現象の非等方性を定量的に評価した。

**155. Widely changing probability of surface damage creation induced by a single ion in the MeV ion energy range**

H. OGISO (National Institute for Advanced Interdisciplinary Research (NAIR)), H. TOKUMOTO (NAIR), S. NAKANO, K. YAMANAKA (Tohoku Univ.)

Journal of Vacuum Science and Technology

B 16-4 (1998-7), pp.1914 ~ 1919

イオン一つがグラファイトに衝突した箇所の摩擦力が数 nm 程度の大きさ領域で大きくなっている事を発見した。また、その箇所での格子が乱れている事も原子分解能のイメージで観察した。また、この摩擦力が大きくなる領域の生成確率がイオンのエネルギーが同じでも、イオン種が異なる事によって違う事を発見した。

156. **Analysis of load dependence of two-dimensional atomic-scale friction**

S. FUJISAWA, K. YOKOYAMA<sup>1</sup>, Y. SUGAWARA<sup>1</sup>, S. MORITA<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Osaka Univ.)

Physical Review B 58-7 (1998-8), pp.4909 ~ 4916

2次元摩擦力顕微鏡を用いてグラファイト劈開面と窒化珪素製単一突起との間に働く摩擦力の荷重依存性を原子スケールで実験的に調べた。高荷重領域では探針が格子周期の凝着ドメイン間での離散的な2次元ジャンプを示し、低荷重領域では滑らかな運動を示した。荷重を増加させると、凝着ドメインの面積は減少した。さらに、離散的ジャンプのジグザグ運動の頻度は、荷重を増加させると減少した。これらの結果は、有効凝着領域の荷重依存性で説明できた。

157. **TIME VARIATION OF THE THIN LIQUID FILM THICKNESS UNDER THE BOILING BUBBLES IN SATURATED POOL BOILING HEAT TRANSFER**

T. YAJIMA (Univ. Tsukuba), A. YABE, K. TAKAHASHI, H. MAKI (Science Univ. of Tokyo)

Heat Transfer 1998, Proceedings of 11th IHTC 2 (1998-9), pp.425 ~ 430

沸騰限界熱流束の発生メカニズムを解明するため、プール沸騰時の発生気泡下部の薄液膜の厚さの時間変動を測定した。微小静電容量プローブを新たに製作し、伝熱面との間の静電容量変化を測定することにより、液膜厚さの絶対値を測定し、その液膜厚さが数百マイクロンから、乾いた状態まで変化することを明らかにした。

158. **固まらない氷の生成 - 冷熱蓄熱輸送への応用 -**  
稲田 孝明

SCIENCE&TECHNONO NEWS TSUKUBA 48 (1998-10), pp.34 ~ 35

不凍化タンパク質は、極地に生息する魚や昆虫の体内に存在し、血液の凍結温度を低下させる効果を持つ。不凍化タンパク質の氷再結晶化を防ぐ機能を利用して、これを氷スラリー生成技術に適用し、STMを用いた氷結晶表面の観察から、その効果のメカニズムを解

明した。また、不凍化タンパク質の代替物質としてシランカップリング剤を選択し、その氷スラリー生成メカニズムについても、STMを用いた観察から解明した。

159. **液相メタノール合成反応における総括反応速度への触媒層厚さの影響**

矢部 彰, 竹村 文男, 劉 秋生 (科学技術特別研究員), 梶山 士郎 (三菱ガス化学(株))

化学工学論文集 24-6 (1998-12), pp.868 ~ 873

液相メタノールの分解反応を活用する長距離エネルギー輸送を提案し、その基礎となる蟻酸メチルの水素化によるメタノールの合成反応を取り上げ、触媒層内のミクロな輸送過程を含む反応速度を実験的に検討した。

160. **Effect of Electric Potential to Micro-Scale Friction between Muscovite Mica and Silicon Nitride**

S. FUJISAWA, Y. ENOMOTO

Proceedings of the 5th international tribology conference in Australia 1-1 (1998-12), pp.497 ~ 499

表面間の相互作用力が慣性力よりも大きくなることが予想されるマイクロマシンの基本的な材料である窒化珪素というシリコンベースの誘電体材料と高絶縁材料のマイカでの表面帯電がマイクロスケール摩擦に及ぼす影響を調べた。電圧印加による分極電荷帯電に起因する電気力がマイクロスケールの誘電物体間の摩擦に大きな影響を与えることが示された。この方法は、摩擦を起こさずに摩擦を制御することが出来る用途の広いマイクロトライボロジー特性のアクティブ制御手法を提供すると期待される。

161. **クラスター制御による分布定数系構造物の振動制御について**

田中 信雄, 菊島 義弘

日本機械学会論文集 C 編 64-619 (1998-3), pp.788 ~ 796

クラスターフィルタリング/クラスターアクチュエーションを構成要素とするクラスター制御を進展させ、対象領域に存在する全ての振動モードの抑制法を提案している。さらに、本手法がLAC法のもつ簡素な制御系とHAC法のもつ精緻な制御機能を合わせもつMACなる範疇に属する手法であることを単純支持平板構造物を対象とした実験を通じて検証している。

162. 分布定数系構造物の振動制御に関する研究 (クラスター制御の提案)

田中 信雄, 菊島 義弘

日本機械学会論文集 C 編 64-619 (1998-3), pp.780 ~ 787

単純支持平板の固有関数を共通した属性を持つ 4 グループに帰属させるクラスターフィルタリング法の提案を行うと共に、フィルタリングとアクチュエーションとの間に相反定理が成立することを証明し、任意の固有関数群の励起を可能とするクラスターアクチュエーションを提案している。さらに、当該センサ群、アクチュエータ群を用いたクラスター制御系について提案し、実験による検証を行っている。

163. **One-dimensional distributed modal sensors and the active modal control for planar structures**

N. TANAKA (Tokyo Metropolitan Institute Technology), Y. KIKUSHIMA

THE JOURNAL of the Acoustical Society of America 104-1 (1998-6), pp.217 ~ 225

無限個のポイントセンサを集積したとみなせる一次元分布定数系センサを用い、二次元平板を対象とした一次元分布定数系モードフィルタリング法を提案すると共に、その設計法を明らかにしている。さらに、一次元分布定数系センサである PVDF フィルムを平板に貼付し、実験により種々の振動モード検出、振動モード抑制を行い当該法の有意性を実証している。

164. クラスター・フィードフォワード制御による分布定数系構造物の振動制御について

田中 信雄 (都立科学技術大学), 菊島 義弘

日本機械学会論文集 C 編 64-622 (1998-6), pp.1940 ~ 1948

分布定数系平板構造物の振動制御を目的として、クラスターフィルタリング/クラスターアクチュエーションを用いた最適フィードフォワード制御則を導出し、クラスターフィードフォワード制御に基づく数値解析抑制効果について明らかにしている。さらに、実験により当該法を使用することで得られる奇数/奇数次モード群のクラスター抑制効果および、4 クラスター全部の抑制を対象とした全振動モードを制御することで得られる振動抑制効果について明らかにしている。

165. **Chaos and its Control in an Asymmetrical Piecewise-Linear Mechanical Vibratory System**

M. KURODA, M. NAKAI (Kyoto Univ.)

Proceedings (CD-ROM) of 4th World Congress on Computational Mechanics Pt. II- Sec. 5, No. 8 (1998-6), pp.1 ~ 18

まず、機械システムに広く見られる非対称な区分線形特性を有する振動系におけるカオスの発生について数値解析の立場から解明する。次に、OGY法と Delayed Feedback法の2種類のカオス制御法の適用可能性について実験的に探求する。最後に、カオスを利用することによって、非線形ではあるが簡素な構造を保ちながら、複雑で多様な機能を有する機械システムを実現する構想について紹介する。

166. **An Experimental Evaluation of Robust Gain Scheduled Controllers for AMB system with Gyroscopic Rotor**

S. SIVRIOGLU, K. NONAMI (Chiba Univ.)

Proceeding of the 6th International Symposium on Magnetic Bearing (1998-8), pp.352 ~ 361

本研究では、強いジャイロ効果が作用するオーバハングロータ・磁気軸受系に対して、線形行列不等式 (LMI) アプローチに基づくゲインスケジュール制御系を設計し、従来の固定補償器である PID 制御の性能と比較する。本研究で設計された補償器は回転速度に依存して特性が変化する補償器であるため、とくに、不釣り合い振動に注目して不釣り合いが小さい場合と大きい場合について制御性能を比較する。

167. **Control of Nonlinear Dynamics for Realization of Downsized Machine Tools (1st Report; Mathematical Modeling and Fundamental Experiments on Metal Cutting Process)**

M. KURODA, Y. ISHIKAWA (Micromachine Center), H. ARAMAKI (NSK Ltd.), T. KITAHARA (Shonan Institute of Technology)

Proceedings of 1998 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA '98) 2 (1998-9), pp.539 ~ 542

工作機械の超小型化の実現可能性を 3 cm 角のマイクロ旋盤という形で実証した。加工性能の維持に留まらず、さらなる向上を目指して、能動制御則の導入のための工具と被削材の間の非線形振動の数学モデル化の必要性について述べると共に、基礎データ収集を目的とした実験を行ったので結果を報告する。

168. **A Chaotic Oscillator using a Shape Memory Alloy Actuator**

A. SUZUKI, M. KURODA

International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA'98) NOLTA98-2 (1998-9), pp.607 ~ 610

カオス発振器の電気抵抗として形状記憶合金を用い、外部環境の変化に応じて分岐することができるカオス振動子を提案した。

169. **A 3-D Self-Reconfigurable Structure and Experiments**

H. KUROKAWA, S. MURATA, E. YOSHIDA, K. TOMITA, S. KOKAJI

Proc. Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS98) Vol.1(1998-10), pp.432 - 439

複数の同一ユニットからなる三次元再構成可能な構造を提案した。ユニットは立方体に6本の腕を持ち、各腕は隣のユニットの腕と結合し、90度毎に回転できる。結合と回転を組み合わせることで、種々の三次元構造を自立的に構成できる。集中制御による一般的な再構成のプロセスとして、基本動作の組み合わせによる方法を示した。また、ユニットの軽量化を考慮した設計法を提案し、4つの試作ユニットによって基本動作を検証した。

170. 分布定数系平板構造物のクラスター制御に関する研究 (振動放射音響パワーの抑制について)

田中 信雄 (東京都立科学技術大学), 菊島 義弘, ニールファーガソン (NEDOフェロー), 真田 明 (岡山県工業技術センター)

日本機械学会論文集 C 編 64-627 (1998-11), pp.4231 ~ 4239

これまでに提案されたクラスターフィルタリング/クラスターアクチュエーションを用い、クラスターパワーを最小とする最適フィードフォワード制御則を導出し、各クラスター因子の音響パワーを抑制する制御系について提案している。さらに、実験により当該法を使用することで奇数/奇数モードクラスターの抑制および音響パワー抑制効果、4クラスター全部の抑制を対象とした全振動モードを抑制および音響パワー抑制効果について報告している。

171. 高圧条件下における二相密閉窒素サーモサイフオンの実験的研究

中納 暁洋, 白石 正夫, 西尾 匡弘, 村上 正秀 (筑波大学)

低温工学 33-1 (1998-1), pp.30 ~ 35

窒素を作動流体とする(極)低温二相密閉サーモサイフオンの熱輸送特性を実験的に調べた。三重点近くから臨界点近傍にわたる広ダイナミックレンジで実験を行い、ここでは熱抵抗値や限界熱輸送量(限界熱流束値)を主に調べた。実験で得られた限界熱輸送量は、いくつかの理論式と比較され、その結果、限界熱輸送量は上昇する気流と下降する液膜流との相互作用によって決定されることが判明した。

172. 上昇する球形気泡の溶解過程に関する研究

竹村 文男, 矢部 彰

日本機械学会論文集 64-618 (1998-2), pp.447 ~ 455

上昇球形気泡の溶解速度を精度よく評価するために、シリコンオイル中を上昇する気泡に顕微鏡付きのカメラを追従させる実験装置を用いてシリコンオイル中を上昇する酸素気泡の上昇速度と気泡径を広い範囲のRe数、Sc数について測定し、さらに酸素のシリコンオイル中の溶解度と拡散係数を測定し、上昇速度と気泡径変化速度と合わせて実験結果をRe数とSc数をパラメータにしてSh数で精度よく整理し、液体中の気泡の溶解過程が、気泡近傍の速度境界層内での溶存気体の拡散過程が律速因子であることを定量的に示した。

173. 可視化によるパルス管冷凍機内の流動状態の観察

白石 正夫, 中村 信彦<sup>1</sup>, 村上 正秀<sup>1</sup>, 中納 暁洋 (筑波大学)

低温工学 43-4 (1998-4), pp.89 ~ 97

パルス管冷凍機内の流動状態を、スモークワイヤー法で可視化することにより、一サイクルにおける流速分布の半径及び軸方向分布の変化を観察した。さらに、圧力振動に対する変位、流速振動の位相の関係についても求め、ベーシック型、オリフィス型、ダブルインレット型の各形式における位相の違いを明らかにした。

174. 高周波加熱FZ法によるシリコン単結晶育成時の融液内対流に関する研究

宗像 鉄雄, 棚澤 一郎 (東京農工大学)

日本機械学会論文集 B 編 64-621 (1998-5), pp.194 ~ 201

高周波加熱FZ法によるシリコン単結晶育成時の融液内対流現象を実験および数値解析により明らかにした。高周波加熱下では、浮力・電磁力共存対流が融液内に発生する。実験・解析を行った結果、融液内の対流は大きく振動していること、浮力より電磁力が顕著に作用し、流れ場の方向が浮力対流の場合と比較して逆転すること等を明らかにした。

175. **Numerical analysis of heat transport mechanism in nitrogen near the critical point**

A. NAKANO, M. SHIRAIISHI, M. NISHIO, F. TAKEMURA, M. MURAKAMI (Univ. of Tsukuba)

Advances in cryogenic engineering, Plenum publishing corporation 43-B (1998-6), pp.1297 ~ 1304

超臨界窒素における熱伝達特性を数値解析により調

べた。熱エネルギー伝搬の基礎方程式を熱流体力学の立場から導出し、これを差分法を用いて解いた。本研究では一次元系及び二次元系のモデルを示し、特に重力による対流の効果を二次元系のモデルを用いることにより調べた。その結果、臨界点近傍の超臨界域では熱がピストン効果により伝わることを示され、又、そこでの重力による対流の効果は非常に小さいことが計算により確かめられた。

**176. A Study of Surface Tension Effect on Double-Diffusive Rollover**

*T. MUNAKATA, I. TANASAWA (Tokyo Univ. of A&T)*

Proc. 7th AIAA/ASME Joint Thermophysics and Heat Transfer Conference 2-0 (1998-6), pp.39 ~ 46

液体中で温度と濃度が同時に拡散する二重核散現象に関し、側面加熱の場合を対象に二重拡散対流に対する温度・濃度依存表面張力の効果を解析した。その結果、表面張力を考慮しなかった場合には上層と下層に分離した二個のロールセルが発生するのに対し、表面張力を考慮した場合には三個のロールセル（上層に二個、下層に一個）が発生することを明らかにした。

**177. Gas Dissolution Process of Spherical Rising Gas Bubbles in Liquid**

*F. TAKEMURA, A. YABE*

Proceedings of ASME Fluids Engineering Division Summer Meeting (1998-6), FEDSM 98-5062, pp.1 ~ 6

気液界面の輸送現象への影響を解明するため、酸素と二酸化炭素の微小気泡の水中への溶解過程を実験的・理論的に検討した。蒸留とイオン交換した清浄水中に含まれる微小な汚れ成分により、気液界面を通じた気体の溶解プロセスおよび気泡の抵抗係数は、剛体球の輸送係数に等しくなり、気泡の界面は運動していない為に抵抗係数や物質伝導率が増加することを明らかにした。

**178. 次世代CO<sub>2</sub>技術 - 有望な海洋とじこめ -**

西尾 匡弘

月刊 地球環境 29-7(1998-7), pp.62 ~ 65

次世代CO<sub>2</sub>対策技術としての各種海洋隔離技術の得失とその研究開発にあたっての実験的検討の紹介、および今後の展望について解説した。

**179. Oscillating flow behavior in a pulse tube refrigerator under optimized conditions**

*M. SHIRAIISHI, K. SEO<sup>1</sup>, N. NAKAMURA<sup>1</sup>, M. MURAKAMI<sup>1</sup>*  
(<sup>1</sup>Univ. of Tsukuba)

Advances in Cryogenic Engineering 43

(1998-7), pp.2015 ~ 2021

最適作動条件下において作動するパルス管冷凍機内の基本的な振動流について、流速、温度、圧力の変化を測定し、熱力学的な仕事と性能の関係について考察した。

**180. Visualization study of oscillating flow inside a pulse tube refrigerator**

*N. NAKAMURA<sup>1</sup>, M. SHIRAIISHI, K. SEO<sup>1</sup>, M. MURAKAMI<sup>1</sup>*  
(<sup>1</sup>Univ. of Tsukuba)

Advances in Cryogenic Engineering 43  
(1998-7), pp.2023 ~ 2029

パルス管冷凍機内の振動流を可視化し、一サイクルにおける流動状態の変化を明らかにした。さらに流動状態と冷凍性能の関係について考察した。

**181. 水中における上昇球形二酸化炭素気泡のガス溶解速度に関する研究**

竹村 文男, 矢部 彰

日本機械学会論文集 64-623 (1998-7), pp.2168 ~ 2173

二酸化炭素気泡の水中への溶解過程を実験的に検討し、気泡界面への汚れ成分の付着現象が気泡の発生位置の近傍で完了してしまうことを明らかにした。実験的には、気泡の上昇速度を測定し、気液界面の運動を仮定する条件から、剛体球へ移行する状況を詳細に検討した。

**182. Gas dissolution process of spherical rising gas bubbles**

*F. TAKEMURA, A. YABE*

Chemical Engineering Science 53-15 (1998-8), pp.2691 ~ 2699

微小気泡の堆積数と気体の液体中への溶解のSherwood数をナビエ・ストークス方程式と物質の方程式を並列して数値計算により求め、実験と比較した。また、Re数100以下、ペクレ数1以上の領域に対して新たな整理式を提案した。

**183. Study of Silicon Melt Convection during the RF-FZ Single Crystal Growth Process**

*T. MUNAKATA, I. TANASAWA (Tokyo Univ. of A&T)*

Proc. 11th International Heat Transfer Conference 7-0 (1998-8), pp.223 ~ 228

高周波加熱FZ法によるシリコン単結晶育成時の融液内対流現象を実験および数値解析により明らかにした。高周波加熱下では、浮力・電磁力共存対流が融液内に発生する。実験・解析を行った結果、融液内の対流は大きく振動していること、浮力より電磁力が顕著に作用し、流れ場の方向が浮力対流の場合と比較して

逆転すること等を明らかにした。

184. ISOにおけるLCAの規格化の動向

赤井 誠

月刊エコインダストリー 3-8(1998-8), pp.5  
~ 8

本誌特集「製品別LCA活用事例」の導入として、ISO14000シリーズにおけるLCAの規格化状況について解説する。

185. **An International Experiment on CO<sub>2</sub> Ocean Sequestration**

*E. ADAMS<sup>1</sup>, M. AKAI, LARS GOLMEN (NIVA, Norway), PETER HAUGAN (Univ. Bergen, Norway), HOWARD HERZOG<sup>1</sup>, S. MASUDA (RITE), STEPHEN MASUTANI (Univ. Hawaii, USA), T.OSUMI (CRIEPI) (<sup>1</sup>MIT, USA)*

Proc. Fourth International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (1998-8), pp.293 ~ 298

地球温暖化対策のひとつのオプションとしてCO<sub>2</sub>の海洋隔離技術が注目されている。ここでは、日本・米国・ノルウェーがIEA-CTIの枠組みの下で計画している国際共同実験について報告している。

186. 環境管理国際標準化の動向(その5)ライフサイクルアセスメント - インベントリ分析

赤井 誠

環境管理 34-10(1998-10), pp.982 ~ 988

ISO/TC207/SC5におけるLCAの標準化作業のうち、インベントリ分析に関するISO14041及びTR14049の進捗状況と内容のポイントについて解説した。

187. エコデザインのためのLCA入門

赤井 誠, 宇郷 良介(日本電気(株)), 乙間 末廣(国立環境研究所)

エコデザインのためのLCA入門(1998-10)

Bo Weidema 著「Environmental Assessment of Products」の和訳

188. **Development of ISO-LCA Navigation Software**

*M. AKAI, S. OTOMA (National Institute for Environmental Studies (NIES)), R. UGO (NEC Corporation (NEC)), N. OKAYAMA (Nana World Communications (NWC)), T. TANAKA (The Institute of Applied Energy (IAE)), H. MIYACHIKA<sup>1</sup>, O. MITSUI<sup>1</sup>, Y. SATO<sup>2</sup>, T. FUJII<sup>2</sup>, M. TONOMURA<sup>2</sup>, Y. KAJI<sup>2</sup>, H. INAZAKI<sup>3</sup>, K. YAGI<sup>3</sup>, T. SASAKI<sup>3</sup> (<sup>1</sup>System Research Center Co. (SRC), <sup>2</sup>Fuji Research Institute Co. (FRIC), <sup>3</sup>NEC Software Kansai, Ltd.*

(KNES))

Proc. Third International Conference on Ecobalance (1998-11), (別冊)

ライフサイクルアセスメント(LCA)は、製品の環境負荷を計量・評価する手法として着目され、国際規格も制定されつつある。このような背景の下、国際規格に準拠したLCAを実施する為の「ISO-LCAナビゲーションソフトウェア(仮称)」を開発した。利用者は、LCAの国際規格に関する詳細な知識を持たなくても、本ソフトウェアのガイダンスに従って手続きを行うことにより、同規格に準拠したLCA分析を行い、報告書を作成することができる。

189. **Infinite Dilution Binary Diffusion Coefficients of C5-mono-alcohols in water in the temperature range from 273.2 to 353.2 K at 0.1 MPa**

*T. FUNAZUKURI (Chuo Univ.) , M. NISHIO*

J. Chemical Engineering Data 44-1 (1998-11), pp.73 ~ 76

炭素数5のアルコール類の水中における拡散係数を、応答法であるTaylor法を用いて計測した。実験圧力は大気圧とし、温度範囲は273.2K ~ 353.2Kについて行った。拡散係数の値は、アルコール自身の沸点、溶媒の粘度、および温度によってよい相関が得られ、既存の文献値ともよい一致を見た。

190. **Economic Valuation for Environmental Impact Using Contingent Valuation Method**

*M. AKAI, N. NOMURA, ALAN KRUPNICK (Resources for the Future), MAUREEN CROPPER (Univ. of Maryland), ANNA ALBERINI (Univ. of Colorado), NATHALIE SIMON (Environmental Protection Agency), ROBERT BELLI (Univ. of Michigan)*

Proc. The Third International Symposium on EcoBalance (1998-11), pp.85 ~ 88

大気汚染改善などにおける、小さな死亡リスクの改善の便益を計るため、CVMをもとにした調査手法を開発し、面接による調査を実施した。調査結果の利用の融通性を考慮し、支払意志額を尋ねる背景説明を少なくした調査設計とし、調査結果の信頼性をチェックできるようにスコープテストのための項目や事後質問を用意した。

191. **Investigation of Large Dynamic Range Performance of Cryogenic Two-phase Thermosyphon**

*A. NAKANO, M. SHIRAISHI, M. NISHIO, M. MURAKAMI (Univ. of Tsukuba)*

Proceedings of the Seventeenth International Cryogenic Engineering Conference 1998

(1998-12), pp.663 ~ 666

液体窒素及び液体空気を作動流体とする極低温用二相閉型サーモサイフオンの基本的な作動特性について調べた。その結果、液体空気を作動流体とするサーモサイフオンは熱輸送量に対して、三つの異なった熱輸送特性を示すことが明らかとなり、液体窒素を作動流体とした場合と全く異なることが判明した。また、限界熱輸送量に関して、内部圧力の高い所で液体空気をういた方が液体窒素を用いた場合より大きいことが明らかになった。

192. **An experimental study of heat transfer characteristics of a two-phase nitrogen thermosyphon over a large dynamic range operation**

A. NAKANO, M. SHIRAIISHI, M. NISHIO, M. MURAKAMI  
(Univ. of Tsukuba)

Cryogenics 38-12 (1998-12), pp.1259 ~ 1266

液体窒素を作動流体とする極低温二相サーモサイフオンの、窒素の三重重点付近から臨界点近傍までの熱輸送特性を実験的に調べた。その結果、代表的な熱抵抗値が内部圧力の高い所で圧力依存性を示さなくなることを観測し、解析を行った所、解析結果は実験結果とよく一致した。また、最大熱輸送量の実験結果も経験式を解いた結果と一致した。本研究で、窒素サーモサイフオンの作動特性が予め予測できることを明らかにした。

193. **Visualization Study on Flow Behavior and Work of Working Gas in a Pulse Tube Refrigerator**

M. SHIRAIISHI, N. NAKAMURA<sup>1</sup>, K. TAKAMATSU<sup>1</sup>, M. MURAKAMI<sup>1</sup>, A. NAKANO (<sup>1</sup>Univ. of Tsukuba)

Proceedings of the Seventeenth International Cryogenic Engineering Conference (1998-12), pp.73 ~ 76

パルス管冷凍機内の流動と作動ガスの仕事について可視的に調べ、作動ガスの仕事と冷凍性能の関係について明らかにした。

194. **Boundary layers of Turbulent Rayleigh-Benard convection in mercury**

T. SEGAWA, A. NAERT<sup>1</sup>, M. SANO<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Tohoku Univ.)

Physical Review E 57 (1998-1), pp.557 ~ 560

低温ヘリウムやSF<sub>6</sub>といった比較的高プラントル数流体で、ハード乱流と呼ばれる熱乱流状態のスケーリング則や内部構造が詳しく調べられ、ハード乱流を超える熱乱流が存在する可能性が示された。本研究では、低プラントル数である水銀を使用し、新しい熱乱流状態の存在を調べた。その結果、ハード乱流にはみられない様々な特異なスケーリングや内部構造が発見さ

れ、ハード乱流を超える新しい熱乱流状態であると結論づけた。

195. **Non-straight Discharge Path Guided by a Laser Beam**

Y. HOSHI, H. YOSHIDA

J. Vac. Sci. Technol. B 16-1 (1998-1), pp.247 ~ 249

真空中でのレーザーによる新しい放電誘導方法を開発した。レーザーによって作られた熱電子で誘導するので、非直線誘導が可能であり、電極の最短距離や電界の集中点ではないレーザー照射点に誘導することができる。誘導には熱電子がいかに残っているガスに衝突して電子なだれを作り出すのが重要なポイントとなる。誘導に適した気圧の範囲について、熱電子と気体との衝突確率と実験値を比較して、両者はよい一致をみた。

196. **ラグランジアン計測による矩形管内乱流中の固体粒子運動の解明**

佐藤 洋平, 林 慈朗<sup>1</sup>, 菱田 公一<sup>1</sup> (<sup>1</sup>慶應義塾大学)

日本機械学会論文集 (B編) 64-619 (1998-3), pp.53 ~ 60

画像処理流速計を用いたラグランジアン計測法を初めて確立し、矩形管内乱流中の固体粒子運動の解明を行った。

197. **秩序・カオス・乱流**

佐野 雅己 (東北大学), 瀬川 武彦

数理科学 418 (1998-4), pp.22 ~ 28

近年、散逸構造やカオスが精力的に研究され、ほとんど全ての系が熱平衡状態から離れるに従って、無構造 (一様構造) 空間パターン、時間振動、カオス、乱流へと転移を繰り返すことが知られるようになった。実は乱流にも散逸構造と呼ぶべき秩序構造が存在する。ではこのように、秩序構造と無秩序構造は、延々と繰り返されるのだろうか。本稿では、低温ヘリウムや水銀を使った実験から、乱流 - 乱流転移と究極状態の可能性について述べる。

198. **Characteristics of an Annular Turbine Cascade at Low Reynolds Numbers**

T. MATSUNUMA, H. ABE, Y. TSUTSUI, K. MURATA  
(Univ. of Tsukuba)

ASME Paper 98-GT-518 (1998-6), pp.1 ~ 19

環状タービン翼列実験装置を用いて、5孔ピトー管によるタービン静翼出口の全圧・静圧・速度分布の定量的測定や、油膜法による翼負圧面側流れの可視化を行い、ガスタービン翼列が低レイノルズ数域で作動す

るときの空気力学特性について調べた。レイノルズ数が低下するにしたがって、翼面上での剥離や壁面近くの二次渦が増大し、全圧損失が急増することが明らかになった。

199. **Experiment on foreign object damage of gas turbine-grade silicon nitride ceramic**

H. YOSHIDA, T. NAKASHIMA (KHI), M. YOSHIDA (Kyocera), Y. HARA (NTK), T. SHIMAMORI (NKT)  
ASME paper 98-GT-399 (1998-6)

300kW級セラミックガスタービン用窒化ケイ素に対する粒子衝撃試験を行った。衝撃曲げ破壊に関して、破壊 - 非破壊領域のマップを作成するとともに薄板理論の適用限界を明らかにした。実機ブレードに関し、粒子衝撃によって生ずる波動の干渉効果によると思われる破壊の形態を確認した。また、高温ならびに引張り応力負荷下での衝撃試験を実施し、それらが衝撃強度に無視できない影響を与えることを確認した。

200. **Development and evaluation of silicon nitride components for ceramic gas turbine**

Y. HARA<sup>1</sup>, K. MATSUBARA<sup>1</sup>, K. MIZUNO<sup>1</sup>, T. SHIMAMORI<sup>1</sup>, H. YOSHIDA (<sup>1</sup>NTK)  
ASME paper 98-GT-498 (1998-6)

300kW級セラミックガスタービン用窒化ケイ素に対する粒子衝撃試験を行った。衝撃曲げ破壊に対する試験片厚さの効果を詳細に検討した。衝撃時に発生するリングならびにコーンき裂について、その発生メカニズムについて考察し、衝突速度に関連づけて整理した。曲げ破壊、コーンき裂破壊が現れる条件を材料の強度と厚さからなるパラメータを用いて統一的に整理した。

201. **Direct Numerical Simulations of Heat Transfer by Solid Particles Suspended in Homogeneous Isotropic Turbulence**

Y. SATO, E. DEUTSCH (Electricite de France, FRANCE), O. SIMONIN (EDF et IMFT, FRANCE)  
International Journal of Heat and Fluid Flow  
19 (1998-7), pp.187 ~ 192

直接数値計算法(DNS)により、固体粒子群が介在する均質等方性乱流における乱流・熱輸送の解明を行った。

202. 真空中のレーザ放電誘導

星 佳伸  
放電ハンドブック CD-ROM版 (1998-8)

真空中でのレーザによる誘導放電についてその原理と加工法について解説した。真空中での放電誘導は、大気中とは原理が全くことなり、非直線誘導も可能で

ある。この方法を応用することで、加工物を動かすことなく切削などの加工が可能である。

203. 二つの渦輪の切りつなぎ現象の発生機構

津代 久子<sup>1</sup>, 矢部 彰, 吉澤 能政<sup>1</sup>, 笹本 明, バイ・ブリチゴ(科学技術特別研究員), 今村 博 (NEDOフェロー), 木枝 香織 (AES)(<sup>1</sup>筑波大)  
ながれ 17-4 (1998-8), pp.279 ~ 287

二つの渦輪の切りつなぎ現象の機構を明らかにするために、無限領域中の同一平面上に存在する等しい循環を持つ二つの渦輪の相互作用について、差分法を用いて3次元な美エーストークス方程式を解くことにより数値シミュレーションを行った。

204. **High Reynolds Number Turbulence of a Low Prandtl Number Fluid**

T. SEGAWA, A. NAERT<sup>1</sup>, M. SANO<sup>1</sup>, J. A. GLAZIER<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Tohoku Univ.)  
Ultra-high Reynolds number flow (Springer)  
(1998-11), pp.247 ~ 257

流体と接する下面を加熱し、上面を冷却すると、熱対流が現われ、カオス状態から熱乱流へと発展するが、さらに温度差を上げると、巨視的な秩序構造を持った熱乱流状態(ハード乱流)に遷移するが知られていた。しかしハード乱流は熱乱流の最終状態ではなく、水銀乱流中ではハード乱流を超える新しい熱乱流状態が発見された。本研究論文では熱乱流に関する基本的な説明をはじめ、新しい乱流状態で見られる特異な現象についての最新結果を報告する。

205. 界面活性剤添加による乱流制御

川口 靖夫  
日本機械学会、P-SC262、熱流動現象の能動制御調査研究分科会成果報告書 1  
(1998-1), pp.98 ~ 108

種々の乱流制御技術のうち、添加剤による方法は安価で安定性があり摩擦抵抗低減効果が80%に及ぶなどの特長がある。この報告では、機技研で進行中の基礎研究について紹介し、特に抵抗低減性をもつ界面活性剤水溶液の特殊なレオロジー性質について詳しく述べた。溶液は非ニュートン粘性、臨界温度、長い緩和時間、機器依存性といった特異な性質を持つ。こうした結果は界面活性剤ミセル集合構造の熱的・力学的性質を反映している。

206. **Experimental investigation of heat transfer enhancement for turbulence drag-reducing flow in a two-dimensional channel**

P. LI, H. DAISAKA<sup>1</sup>, Y. KAWAGUCHI, A. YABE,

K. HISHIDA<sup>1</sup>, M. MAEDA<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Keio Univ.)

Proc. 2nd EF conference on Turbulent Heat Transfer 2, (1998-6), pp.21 ~ 29

水流に界面活性剤を添加すると乱流抑制に伴って、熱交換器の性能が低下する。このことは、抵抗低減流体を熱搬送システムに用いた場合、大きな問題となる。そこで本研究では流体の機能性に着目し、界面活性剤水溶液に金網を挿入して界面活性剤のミセル構造を破壊する方法を用いて熱交換器の性能低下を防止することを試みた。その結果、金網挿入によって水路高さの30倍までの範囲で、水と遜色ない程度まで伝熱促進を図ることができた。

207. **The ignition of H<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-Ar mixture flows with ArF excimer laser - The influence of the flow speed, temperature and adding of ozone -**

H. FURUTANI, F. LIU (Tsukuba Univ.), N. IKI, J. HAMA, S. TAKAHASHI

Proceedings of the 12th World Hydrogen Energy Conference 2-1 (1998-6), pp.1489 ~ 1496

本報告においては、余熱が可能な予混合バーナを作成し、水素-酸素-アルゴン予混合気流を作成し、着火制御への流速、余熱、オゾン添加の影響を調べるとともに、着火状況の観察を行った。この結果、果流速の影響は無く、250 以上では余熱により最小着火レーザ照射強度が大きく下がること、オゾンの添加によっても、最小着火レーザ照射強度が低下する結果を得た。また、それぞれの着火状況は静止系の場合と大きな違いはないことがわかった。

208. **Combustion Properties of Stoichiometric Hydrogen-Oxygen-Steam Mixture in Steam Environment**

N. IKI, H. FURUTANI, J. HAMA, S. TAKAHASHI

Proceedings of the 12th World Hydrogen Energy Conference 2 (1998-6), pp.1479 ~ 1488

水蒸気循環型水素燃焼タービンシステムのモデル燃焼器開発のために必要な基礎データとして、水素 - 酸素 - 水蒸気量論比混合気の層流燃焼速度と火炎吹き飛び速度を調べた。層流燃焼速度は高温雰囲気下であっても圧力上昇により単調に著しく減少した。また、水蒸気雰囲気中の予混合火炎の吹き飛び速度は小さく、その温度依存性は温度上昇と共に小さくなった。水蒸気との混合気は他の混合気に比べて保炎が難しいことがわかった。

209. **界面活性剤水溶液による熱エネルギーの長距離輸送**

川口 靖夫

日本機械学会、RC142、省エネルギー・環境制御のための熱・エネルギーシステム最適化研究分科会、研究報告書 2, (1998-7) pp.179 ~ 186

個別機器の省エネルギー効果は頭打ちとなってきており、今後国の規模で大幅な省エネルギーを行うためには、大量のエネルギー消費と排熱放出を行っている都市のエネルギー利用の最適化を図る必要がある。この報告では、エコエネルギー都市プロジェクトについて紹介し、熱の長距離輸送に有望視されている、界面活性剤添加による抵抗低減技術の現状と機技研で取り組んでいる基礎研究の成果について報告した。

210. **OBSERVATION OF FLAT -IGNITION OF H<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-O<sub>3</sub> MIXTURES WITH EXCIMER LASER**

H. FURUTANI, F. LIU (DAIHATSU Diesel Co. Ltd), N. IKI, J. HAMA, S. TAKAHASHI

Proc. of The 3rd Japan-Central Europe Joint Workshop 1-1 (1998-9), pp.259 ~ 262

本報告では、水素 - 酸素中のオゾン濃度を上げることによって、これまでの50分の1程度のレーザ照射出力の小型レーザにより紫外光による非着火が可能であることを検証し、その着火状況からレーザの照射部分全体を着火できることを明らかにした。この結果を受け、強いレーザ強度のレーザを用いてレーザシートを作り、その1平面全体を同時に着火できることを明らかにし、ポリウムメトリックな着火が可能であることを検証した。

211. **A Comparison of Measured and Calculated Transient Injection Characteristics of a Pintletype Injector for Direct Injection of LPG**

J. S. SHAKAL (TSI Co.), S. S. HWANG (Inchon Univ.), S. T. HONG (Ibiden Co.), J. Y. KOO (Hankuk Aviation Univ.), S. GOTO

1998 FISITA World Automotive Congress, The Second Century of the Automobile - F98P502 (1998-10), pp.27 ~ 38

低沸点燃料の燃焼室内での蒸発混合状態を調べることを目的として、LPG燃料をピントルタイプの燃料噴射弁を用いて燃料噴霧の粒径と流速分布の計測を行った。また高速度カメラによる可視化も試みた。その結果、高圧で噴射されている場合、噴霧の中心部のガス化は速やかには進行しないが、周辺部においては液滴が速やかに蒸発混合して行く様子が定量的に把握できた。

212. **Flame Speed Measurements and Predictions of Propane, Butane and Autogas at High Pressures**

*D. LEE (STA Fellow), J. SHAKAL (TSI Co.), S. GOTO, H. ISHIKAWA (Hokkaido Univ.)*

1998 SAE International Fall Fuels & Lubricants Meeting & Exposition -982448 (1998-10), pp.1 ~ 7

エンジンの効率向上には火炎伝播速度が重要なファクタとなることから、イオンプローブを用いて、プロパン、ブタンおよび混合ガスの火炎速度の計測を行った。初期の圧力の増加に伴って、伝播速度は減少してくることがわかった。三種類の燃料ともに同様の傾向を示すが、燃料リッチの領域では、ブタンやオートガスの方がプロパンよりも高いという傾向がみられた。

213. **Flame Front Speed of a Decane Fuel Cloud Under Microgravity Conditions**

*J. SHAKAL (TSI Co.), D. LEE (STA Fellow), H. ISHIKAWA (Hokkaido Univ.), S. GOTO*

1998 SAE International Fall Fuels & Lubricants Meeting & Exposition -982566 (1998-10), pp.209 ~ 213

北海道上砂川町にある地下無重力実験センターを用いて、微小重力場における燃料噴霧の火炎伝播速度の計測を行った。微小重力場においては、セル状火炎が出来やすいこと、微小重力場では火炎伝播速度が重力場におけるよりも小さめになること、および着火がしにくい傾向になることなどが明らかとなった。

214. **Investigation of the Combustion Mechanism of Fuel Droplets Under Microgravity Conditions by Numerical Simulation**

*H. ISHIKAWA (Hokkaido Univ.), J. SHAKAL (TSI Co.), S. GOTO, D. LEE (STA Fellow)*

1998 SAE International Fall Fuels & Lubricants Meeting & Exposition -982615 (1998-10), pp.1 ~ 5

微小重力場における燃料液滴群の燃焼と平行して、燃焼のシミュレーションコードであるKIVA3を用いて、燃料粒子群が燃焼速度に及ぼす影響について、数値計算を行った。蒸発が速やかに進行する条件下では、当量比が1.1で最大の燃焼速度となる。また、燃焼初期温度が低い場合には、火炎伝播速度も低くなる。更に、燃焼室内において、燃料の濃度変化を利用すると、NO<sub>x</sub>の生成を大はばに低減できることがわかった。

215. **The Ignition of H<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-O<sub>3</sub>-Ar Mixture Induced by the Photolysis of Ozone**

*F. LIU (DAIHATSU Diesel Co. Ltd), H. FURUTANI, J. HAMA, S. TAKAHASHI*

JASME International Journal B 41-4 (1998-11), pp.951-958

KrFエキシマレーザによる水素 - 酸素 - オゾンの予混合気流の着火技術において、その着火過程の観察結果を紹介するとともに、オゾン濃度、予混合気温度、アルゴンによる希釈の最小着火レーザ照射強度に与える影響を示した。また、その着火状況からArFエキシマレーザによる着火と比較し、桁違いに速い現象であることがわかり、この原因は光化学反応により生成される電子励起酸素ラジカルの反応に起因すると考察した。

216. **発電用水蒸気循環型水素 - 酸素燃焼複合タービンシステムの解析**

壹岐 典彦, 濱 純, 古谷 博秀, 高橋 三 餘

水素エネルギーシステム 23-2 (1998-12), pp.2 ~ 7

将来の発電用水素燃焼タービンを最適化に必要な有用なデータを得るために、GRAZ工科大学で提案された水蒸気循環型複合タービンシステムについて理論的に検討した。このシステムは水素 - 酸素量論比燃焼のガスタービン、ボトムリングの復水タービン及び高压タービンから構成されており、タービンの作動媒体は水蒸気で共通である。タービン入口温度や抽気率などのパラメータを変えてこのシステムの性能やエクセルギー損失を調べた。

217. **Recent Power Generation Experiment with Fuji-1 CCMHD Blow-Down Facility.**

*Y. OKUNO, T. OKAMURA, K. YOSHIKAWA, S. KABASHIMA, H. YAMASAKI (Tokyo Institute of Technology), S. SHIODA (Keio Univ.), Y. HASEGAWA*

Proc. the 1998 Int. Symp. on Adv. Energy. Tech. 1 (1998-2), pp.277 ~ 284

ブローダウン型クローズドサイクルMHD発電実験装置Fuji-1の最近の発電実験結果について報告する。改造型シードノズルとDisk-4型発電チャネルを用いて、1997年9月に行った実験では、エンタルピー抽出率18.4%、発電出力506KWを記録し、エンタルピー抽出率の世界最高記録が達成された。一方、発電実験の初期に発電出力が低下するという、ブローダウン型装置固有の問題点も明らかになった。また、作動ガスの不純物レベルを下げることにより、発電性能の向上が見られた。

218. **Seed Fraction Measurement in Closed Cycle MHD Power Conversion.**

*T. M. MARINCHENKO<sup>1</sup>, V. M. ZUBTSOV<sup>1</sup>, Y. HASEGAWA, K. TSUJI, K. YOSHIKAWA, H. YAMASAKI (Tokyo*

*Institute of Technology), S. SHIODA (Keio Univ.)  
(<sup>1</sup>Siberian Energy Institute)*

Proc. the 1998 Int. Symp. on Adv. Energy.  
Tech. 1 (1998-2), pp.581 ~ 588

Fuji-1装置の発電実験では、半導体レーザ光のアルカリ金属原子による吸収を利用して、発電チャネル入り口部でシード率を計測している。シード率の計測結果は、投入したシード率が均一に分散し蒸発したときに予測されるシード率の約50%の値を示している。シードは、作動ガスに液滴の形で噴霧されるが、乱流混合と分子拡散を評価すると、作動ガス中のシードの分布は不均一になっていることが予測される。本論文では、レーザ光による計測結果からシード率を算出するための不均一モデルを提案し、Fuji-1装置の実験結果と比較しよい一致が得られることを示した。

#### 219. Optical Measurements of MHD Power generation Plasma in Fuji-1 Disk Generator.

*T. MURAKAMI, Y. OKUNO, H. YAMASAKI, S. KABASHIMA  
(Tokyo Institute of Technology), Y. HASEGAWA*

Proc. the 1998 Int. Symp. on Adv. Energy.  
Tech. 1 (1998-2), pp.301 ~ 308

ブローダウン型実験装置Fuji-1のディスク型MHD発電チャネル内のセシウムをシードしたアルゴン非平衡プラズマの電子温度を分光学的に測定し、電子温度と発電性能の関係について考察した。2.9×10<sup>-4</sup>程度の比較的低いシード率、作動ガス中の水分が少ない条件下で最大の発電出力が得られたが、そのときの電子温度は4000Kで、電子温度、セシウム原子のライン発光強度、ホール電圧、いずれも変動が小さかった。これらの結果は、均一で安定なプラズマ状態が実現した時に高い発電性能が得られることを示唆している。

#### 220. Calculation of Methane-Air Burning Velocity at High Temperatures

*O. KURATA, S. TAKAHASHI, Y. UCHIYAMA*

Bulletin of GTSJ 1998 (1998-3), pp.29

高温のメタン空気希薄混合気の層流燃焼速度をCHEMKINコードにより計算し、実験値と比較した。計算オプションとして、対流項に風上差分法、格子数約45、輸送係数に混合平均モデルを用い、熱拡散項は無視した。実験の測定範囲は、予熱温度303-1023K、雰囲気気圧0.1-0.3MPaと当量比0.5-1.0であった。計算値と実験値の差は9%と小さく、CHEMKINに採用されている素反応、反応係数と輸送係数は高温・希薄のメタン空気の燃焼速度を推定するには適当である。

#### 221. Hydrogen Internal Combustion Stirling Engine

*S. TAKAHASHI, J. HAMA, H. FURUTANI, N. IKI,  
I. YAMASHITA (Tokyo Denki Univ.)*

12th Hydrogen Energy Conference 2 (1998-6), pp.1437 ~ 1445

通常の外燃式のヒーターの代わりに触媒燃焼器を設置したスターリングエンジンに水素と酸素を量論比で注入して、燃焼させて熱入力とし、燃焼によって生じた水はクーラーで凝縮させて系外に取り出す新しいエンジンを提案した。さらに、触媒燃焼器内を流れる往復流の反応過程を解析して、触媒燃焼の可能性を明らかにした。

#### 222. High Enthalpy Extraction Experiments with CCMHD Fuji-1 Blow-down Facility.

*Y. OKUNO, T. OKAMURA, K. YOSHIKAWA, H. YAMASAKI,  
S. KABASHIMA (Tokyo Institute of Technology),  
S. SHIODA (Keio Univ.), Y. HASEGAWA*

Proc. 29th Plasmadynamics and Lasers Conf.  
AIAA-98-2921 (1998-7), pp.1 ~ 8

改造型シードノズルとDisk-4型発電チャネルを用いて、1997年9月に行ったブローダウン型クロードサイクルMHD発電実験装置Fuji-1の発電実験では、エンタルピー抽出率18.4%、発電出力506KWを達成した。このエンタルピー抽出率はFuji-1装置で得られた最高の記録である。また、発電実験の初期に発電出力の低下が見られたが、この現象はシード剤が冷たい発電チャネル壁に付着し、チャネル温度の上昇とともに取り除かれるために起こると思われる。また、作動ガスの不純物レベルを下げることににより、発電性能の向上が見られた。

#### 223. 水を作動媒体とする圧縮式ヒートポンプ用ヘリカル形液封式圧縮機の研究 (第1報, 圧縮機概念と基本運転特性)

遠藤 尚樹, 矢部 彰, 山下 巖 (東京電機大学)

日本機械学会論文集 (B編) 64-625 (1998-9), pp.2991 ~ 2997

水を作動媒体とするヒートポンプ用圧縮機として最も適した形式の一つとして液封式圧縮機を選定した。この方式の圧縮機の体積効率を高めるために筆者らはヘリカル形液封式圧縮機を考案し、試作した。この装置はロータの羽根がらせん状の形状を持ち、吸入部と吐出部が軸方向に隔てられている。封液に水、被圧縮気体として空気を用いた試運転の結果、吸入・圧縮が行えることが確認された。

#### 224. 実用電気自動車のエネルギー効率を左右するもの - EV用組電池の簡易モニタリング -

清水 健一

エネルギーフォーラム 524(1998-8), pp.113

実用電気自動車のエネルギー効率は充電方法の適否に大きく左右されている。充電時と同時に放電時の各電池の状況は、エネルギー効率と同時に電池の寿命そのものをも左右するので、使用中の電池の各セルのモニタリングが重要な意味を持っている。使用中の電池の各セルの状態を把握する手法について紹介した。

**225. Monitoring System for VRLA Battery - Verification of Cell Base Monitoring Effectiveness and Outline of Prototype System -**

*K. SHIMIZU, N. SHIRAI, ABULITI ABUDULA (New Energy & Industrial Technology Development Organization (NEDO))*

Proc. of the 15th International Electric Vehicle Symposium (1998-9), paper No. 169 (on CD-ROM)

多数の電池を直列接続して使用するEV用電池では、電池間に生じる特性のアンバランスによって、一部の電池の特性が急激に劣化する現象があり問題となっている。この原因であるセルレベルのアンバランスを監視してこの現象を防止するシステムを試作した。セルレベルの監視を行うことで電池の劣化モードを未然に防ぐことが可能であることを確認した。

**226. つららの成長原理を応用した室内タイヤ試験機用氷結路面の作成**

二瓶 光弥, 清水 健一

寒地技術論文・報告集 14 (1998-12), pp.13 ~ 18

つららの成長原理を応用して、室内タイヤ試験機のドラム上に、波長 7 mm ~ 12mm のマクロな凹凸や表面粗さが数十  $\mu\text{m}$  のミクロな凹凸まで、任意の凹凸を有した氷結路面の作成方法を確立した。これによって、タイヤの氷上性能と路面凹凸との解析が可能となった。

**227. Differential mobility analyzer (DMA) for the measurement and sizing of nano-particles, clusters and ions**

*T. SETO, K. OKUYAMA (Hiroshima Univ.), K. TAKEUCHI (RIKEN)*

Riken review 17-4 (1998-4), pp.5 ~ 6

ガス中に浮遊する微粒子の分級装置 (DMA) をナノ粒子、クラスター、イオンなどの測定のために高分解能化し、さらに減圧下でも適用した。高分解能測定では分解能12%、減圧場での測定では60Torr ~ 大気圧の圧力においてナノメートルサイズの粒子の分級が可能であることが分かった。

**228. Temperature Measurements of a Laser Induced Plume by Emission Spectroscopy**

*H. IWAMOTO (Vacuum Metallurgical Co., Ltd.), N. AYA, S. KANO, H. SHIMURA, N. ICHIKAWA, Y. ENOMOTO*

Proceedings of ICALEO 83-1 (1998-5), pp.103 ~ 111

連続発振の高出力CO<sub>2</sub>レーザの固体試料への照射により生成するプラズマ・プリュームの自己発光を分光し、温度を解析した。軟鋼の場合にはFeの原子線が観測され、温度は約3000 Kであった。グラファイト試料の場合にはC<sub>2</sub>のSwan系列の分子線が観測され、振動温度と回転温度はともに約4000-6000 Kであり、雰囲気圧力に依存した。分子線が観測される場合の解析は原子線の場合に比べて複雑となるが、充分高い波長分解能 (グラファイトの場合0.1nm) における測定から振動温度を解析する方法が最も簡便かつ正確なデータ解析方法であることを示した。

**229. Aerosol Particle Measurement by Photon Correlation Spectroscopy; Evaluation with using Differential Mobility Analyzer**

*N. AYA, T. SETO*

Proceedings of 5th International Congress on Optical Particle Sizing 1 (1998-8), pp.19 ~ 20

エアロゾル粒子の光子相関法測定について、検討した。信頼できる分級 / 計測法として確立しており光子相関法と同様に粒子の拡散抵抗に基づく手法であるDMAを、分級粒子の供給と測定値の比較に用いた。液滴球形粒子については単分散・多分散粒子とも、濃度揺らぎを考慮することで、両測定値がよく一致することを示した。また、固体凝集体粒子については、フラクタル凝集体の散乱理論を用いることで、DMA及び電子顕微鏡観察の結果と光子相関測定値が一致することを示した。

**230. Size and sign effect on the ion induced nucleation**

*T. SETO, K. OKUYAMA (Hiroshima Univ.)*

Journal of Aerosol Science 29-S1 (1998-9), pp.141 ~ 142

大気環境変動メカニズムにおいて重要な、イオンへの蒸気の凝縮過程、すなわちイオン核生成に関して、核となるイオン種、サイズ、極性、電荷数の核生成に及ぼす影響を実験的に求めた。実験結果を古典的核生成理論によるイオンの核化特性と比較したところ、イオンのサイズ変化による核化特性の変化は定性的に説明することができたが、極性の影響 (サイン効果) は説明することができなかった。

231. **Effects of preparation conditions on the characteristics of titanium dioxide particles produced by CVD method**

K. OKUYAMA<sup>1</sup>, M. SHIMADA<sup>1</sup>, T. FUJIMOTO<sup>1</sup>, T. MAEKAWA<sup>1</sup>, K. NAKASO<sup>1</sup>, T. SETO<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Hiroshima Univ.)  
Journal of aerosol science 29-S1 (1998-9), pp.907 ~ 908

気相化学反応法 (CVD) によってナノメートルオーダーの酸化チタン粒子を製造し、その生成条件による粒径分布の変化を微分型微粒子分級装置 (DMA) および凝縮核計数器 (CNC) によって測定した。また離散 - 区分型モデルを用いた微粒子の生成シミュレーションを行い、実験結果と比較を行った。

232. エアロゾルプロセスによって製造した導電性酸化亜鉛微粒子の形態と電気特性

瀬戸 章文, 綾 信博, 奥山 喜久夫<sup>1</sup>, 秦 健志<sup>1</sup> (<sup>1</sup>広島大学)

エアロゾル研究 13-4 (1998-12), pp.337 ~ 342

気相化学反応を用いて酸化亜鉛にアルミニウムをドーピングすることによって、高い電気伝導性を持つ微粒子の製造を試みた。粒子の生成条件 (流量、温度、ガス組成) による粒子の特性の変化を X 線回折、TEM、SEM、電気抵抗測定、定量分析などによって解析し、高い導電性を持つ粒子の生成に関する最適条件を求めた。

233. **Improvement of Magnesium Alloy Processing for Reduction of Environmental Impacts Using Life Cycle Assessment**

T. SANO, T. SAEKI<sup>1</sup>, S. HORIKOSHI (AES), S. FUCHIZAWA<sup>1</sup>, S. SADO (<sup>1</sup>Utsunomiya Univ.)

Proceedings of International Workshop on Environmental and Economic Issues in Metal Processing (1998-11), pp.57 ~ 63

自動車用マグネシウム部品の各種成形加工法に関してライフサイクルアセスメントを実施し、部品製造過程、自動車使用時の環境影響を評価した。マグネシウム合金による軽量化が使用段階の環境影響低減に効果があるが、材料歩留まりとリサイクル率の向上が望まれることを示した。

234. **Development of LCA Software for Recycling and Allocation: LCA of Magnesium Alloys for Automotive Components**

T. SANO, T. SAEKI<sup>1</sup>, S. HORIKOSHI (AES), S. FUCHIZAWA<sup>1</sup>, S. SADO (<sup>1</sup>Utsunomiya Univ.)

Proceedings of The Third International Conference on EcoBalance (1998-11), pp.523

~ 525

マグネシウム合金を自動車用構造材として適用した場合の環境への影響を特に加工プロセスとリサイクル率に注目して評価した。プロセスに即した流れ図から行列を得て環境負荷を計算する手法によるリサイクルと割付の問題解決に適するLCAインベントリーソフトウェアを開発した。

235. **Possibilities of Electrochemical Micromachining**

K. CHIKAMORI

Int. J. Japan Soc. Prec. Eng. 32-1 (1998-3), pp.37 ~ 38

電解加工を微細加工に適用する場合の特質を考察した。電解加工は工具電極の消耗が無いため、三次元微細加工に適していると考えられるが、加工間隔が大きいたことが問題である。このため、電氣的接触検知に基づく加工間隔の制御法を採用した微細電解加工実験機を製作し、加工電圧及び電解液の濃度を通常より1桁以下に下げることにより、170 μmの工具電極を用いて10 μm以下の (側面) 加工間隔の微細穴を加工することができた。

236. **Prediction of Small Drill Bit Breakage Using Discrete Wavelet Transform and Discriminant Functions**

N. KASASHIMA, K. MORI, J. C. FU<sup>1</sup>, C. TROY<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Dayah Univ., Taiwan)

Proc. of 1998 Japan-USA Symposium on Flexible Automation 2 (1998-7), pp.749 ~ 753

直径 2 mm以下の小径ドリルを用いた加工時の工具折損予知法を開発した。本手法は、ドリル加工時のスラスト力信号に離散ウェーブレット変換を行うことにより、時間 - 周波数分布の解析を行い、さらにその分布係数から3つのインデックス関数を用いて特徴抽出する。この結果に線形判別法を用いることにより、折損前兆状態を自動判別する。評価実験を行った結果、折損の1 ~ 3穴加工前までに、折損予知できることが分かった。

237. **Compatibility Studies of Different Methods of Measurement in the Nonmeter Range**

M. HATTORI, T. TSUTSUMI, M. DIETZSCH<sup>1</sup>, C. PERTUCH<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Chemnitz Univ. of Technology)

Proc. of the Fourth International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments (1998-9), pp.26 ~ 34

マイクロ部品の表面形状、粗さについて様々な計測手法が提案され装置化されているが異なる計測法間の測定結果比較可能性を検討している。マイクロ歯車の

軸受け座などを例に触診式粗さ計測、SEM計測、レーザ干渉型、AFMなどによる計測データを統計的に検討し、前2者について比較可能性が認められた。

**238. Decision Support at the early stage of environmental conscious design**

*M. HATTORI, T. WAIDA, N. NOMURA*

Proc. of International Workshop on Environmental and Economic Issues in Metal Forming (1998-11), pp.233 ~ 238

環境調和型製品設計では、材料選択および構造設計が重要であり、資源循環のためには両者の協調が必要である。材料選択支援、廃製品の解体時間評価の設計支援システムへの組み込み、再生材品位を確保するための部品選択戦略などについて述べている。

**239. Development of Lubricative Al Alloy Based Matrix Composite with Cluster Diamond**

*K. HANADA (JST Fellow), K. NAKAYAMA, T. SANO, M. MAYUZUMI (Tokyo Diamond Tools M.F.G Co.)*

Proceedings of 4th International Conference on Advanced in Materials and Processing Technologies 1 (1998-8), pp.483 ~ 489

粉末冶金法を利用してクラスタダイヤモンドを分散したAl-Si合金基複合材料の作製を試み、内部組織、摩擦特性について評価した。クラスタダイヤモンドを1%添加したAl-Si合金の摩擦係数及び摩耗量は、低荷重及び低速度条件において著しく低減することを明らかにした。

**240. Fabrication and Lubrication of Cluster Diamond Dispersed Cu Matrix Composite**

*K. HANADA (JST Fellow), K. NAKAYAMA, T. SANO, M. MAYUZUMI (Tokyo Diamond Tools M.F.G Co.), H. NEGISHI (Univ. of Electro-Communications)*

Proceedings of 4th International Conference on Advanced Materials and Processing Technologies 1 (1998-8), pp.490 ~ 496

クラスタダイヤモンドを分散した銅基複合材料について、メカニカルリング法を利用した粉末冶金プロセスを開発し、その最適化を図った。プロセスパラメータが内部組織及び摩擦特性に与える影響を明らかにした。

**241. Fabrication of micro-parts by high aspect ratio structuring and metal injection molding using the supercritical debinding method**

*T. SHIMIZU, Y. MURAKOSHI, T. SANO, R. MAEDA, S. SUGIYAMA*

Microsystem Technologies, Vol.5, No.2,

(1998)

PIMのプロセスと超臨界脱脂法を用いて、高アスペクト比のマイクロ形状の成形を試みた。成型型にはエキシマレーザーのアブレーションにより作製した。この型にステンレス粉末を主成分とするコンパウンドを射出し、幅20 $\mu$ m、高さ100 $\mu$ mの形状を容易に成形する事が出来た。

**242. Inside Bead Forming of Aluminium Tube by Electro-Magnetic Forming**

*Y. MURAKOSHI, M. TAKAHASHI, T. SANO, K. HANADA (JST Fellow), H. NEGISHI (Electro Communication Univ.)*

7th International Conference Metal Forming 98 80-81 (1998-9), pp.695 ~ 699

電磁成形法による管の成形には拡管法、縮管法があり、実用的には宿管法による成形が検討されている。そこで、宿管法により直径36mm、厚さ1.0mmのアルミニウム管(A6063TD)のボード加工を行い、その成形条件がビード形状に及ぼす影響を求めた、また、それらの変形シミュレーションをMARCを用いて行い、そのシミュレーション結果と実験結果を比較した。

**243. Triboelectromagnetic phenomena**

*K. NAKAYAMA*

Proceedings of the 2nd Symposium on Tribochemistry, 15-17, September 1997, Janowice, Poland (1998-9), pp.7 ~ 11

固体と固体を摩擦すると電子放射、イオン放射、フォトン放射、帯電が発生し、摩擦面近傍にマイクロプラズマが発生する。この現象を摩擦電磁気現象と呼ぶ。この現象は固体種、周囲雰囲気分子種に大きく依存する。炭化水素ガス中でもこの現象が発生し、この場合には炭化水素ガス分子はこの電磁気現象により分解し高分子分子を生成し、摩擦摩耗を低下させる。

**244. Triboelectromagnetic phenoma for various solids and tribosystems of head/disk sliding contacts in magnetic recording apparatus**

*K. NAKAYAMA*

Proceedings of NORDTRIB '98, the 8th International Conference on Tribology (1998-9), pp.139 ~ 146

現状では、コンピュータの運転中は磁気記録装置のヘッドは回転する磁気記録ディスクの上を浮上している。しかし、次世代の超高密度磁気記録装置においては両者が連続接触する、いわゆるインコンタクトの状態を目指している。この場合には摩擦電磁気現象が重要となることを、ヘッドと磁気ディスクの材料をシミュレートしたトライボシステムで示した。

**245. Tribological Properties of Self-lubricative Cu composite with Cluster Diamond**

*K. HANADA (JST Fellow), A. IMAHORI<sup>1</sup>, K. NAKAYAMA, T. SANO, M. MAYUZUMI (Tokyo Diamond Tools M.F.G Co.), H. NEGISHI<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Univ. of Electro-Communications)*

Proceeding of 7th International Conference on Processing and Fabrication of Advanced Materials (1998-10), pp.369 ~ 380

メカニカルミリング法を利用した粉末冶金プロセスによりクラスターダイヤモンド分散銅基複合材料の作製を行い、内部組織及び摩擦特性について評価した。摩擦試験条件やクラスターダイヤモンド含有量が摩擦特性に与える影響について報告した。

**246. Triboelectromagnetism in the atmospheres of air and hydrocarbon gases and liquids**

*K. NAKAYAMA*

Proceedings of the 12-th International Symposium of Exoemission and its Application (1998-10), pp.227 ~ 232

大気中、各種ガス中、炭化水素ガス中、さらには炭化水素油中において摩擦電磁気現象が発生することを、各種固体において示した。この電磁気現象は、乾燥摩擦下、潤滑下においても同様の機構で発生し、油中においては油による表面の濡れ性が重要であることを示した。

**247. Study of Carburizing of Cold Forged Parts Made of Chromium Steel**

*K. HATSUKANO, K. SHINOZAKI, H. SAWABE (Reikan Tanzo Co., Ltd.), K. KURIBAYASHI (Kuribayashi Manufacturing Co. Ltd.)*

第6回日中精密鍛造シンポジウム論文集 (1998-10), pp.167 ~ 179

クロム鋼製トリポードを冷間鍛造加工した後の加熱条件および焼入れ温度と結晶組織との関係、ピッカーズ硬さを調べ、鍛造後の焼ならしの必要性について検討し、焼きならしの必要性が認められないことを確認した。また、焼入れ温度を高くするとマルテンサイトの結晶粒が小さくなり、均一化することを明らかにした。

**248. A new trianglelement for the axisymmetric UBET**

*T. SHIMIZU, T. SANO*

Metals and Materials, Vol.4, No.3 (1998), pp573 ~ 576

UBRTのためのあたらしい要素を提案した。この要素は、流れ関数のより要素内の可容速度場を表わすた

め、基本的に体積が保存される。また、軸対象空間に置いて任意の三角形形状を取ることが可能であり、また境界に沿っての流入・流出量を一定に定義する事ができる。このことは工具等の境界を容易に表わせる事を意味する。

**249. Evaluation of binder system for supercritical carbon dioxide debinding process.**

*T. SHIMIZU, T. MURAKOSHI, T. SANO*

Proceedings of the 1998 Powder Metallurgy World Congress & Exhibition, Vol.3 (1998), pp103 ~ 108.

超臨界脱脂法を用いたMIMプロセスにおけるバインダーの検討を行なった。この脱脂法に用いるバインダーは超臨界二酸化炭素溶解するパラフィンワックス、ポリマー、および分散剤からなるが、分散剤に用いたステアリン酸の製品品質に与える影響を検討した。また、分散剤を用いないバインダーの検討を行なった。

**250. Structure and expected piezoelectric properties of sol-gel derived multilayer PZT films**

*K. MIYAZAWA<sup>1</sup>, R. MAEDA, K. ITOH<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Univ. of Tokyo)*

Solid State Ionics 108 (1998-1), pp.85 ~ 90

ゾルゲル法により強誘電体であるPZTの積層膜を成膜した。構造及び物性をXRD、透過電子顕微鏡、FTIRで調べた。最終熱処理は750 °Cである。パイロクローア相は熱処理時間とともに減少した。12ミクロン以上の厚膜において相対誘電率1200以上を達成した。

**251. Study on fabrication of high aspect ratio MEMS microparts using a compact SR beamline**

*S. SUGIYAMA<sup>1</sup>, Y. ZHANG (Sumitomo Heavy Industry), M. HOSODA<sup>1</sup>, H. UENO<sup>1</sup>, O. TABATA<sup>1</sup>, S. KONISHI<sup>1</sup>, R. MAEDA (<sup>1</sup>Ritsumeikan Univ.)*

Microsystem Technologies 4 (1998-1), pp.61 ~ 63

放射光を利用した微細なパーツの作成法 (LIGAプロセス) について述べる。小型の蓄積リングを持った波長10オングストロームを中心とする使用した放射光源を用いた。マスクの製作はSINをメンブレンにし、WをX線の吸収体として用いた。得られたマイクロパーツのアスペクト比は約10以上を達成した。またこのハイアスペクト比構造体を用い、Niの微小構造体を電気メッキにより製作した。

**252. Application of sol-gel deposited thin PZT film for actuation of 1D and 2D scanners**

*A. SCHROTH, C. LEE, S. MATSUMOTO, R. MAEDA*

Proc. MEMS (1998-1), pp.402~407

ゾル・ゲル法で堆積したPZT薄膜により駆動され、1次元及び2次元方向のスキャンが可能なマイクロミラーデバイスを作成した。厚さ1.5ミクロンのPZT薄膜とシリコン酸化膜からなるバイモルフ構造を使用し、共振周波数で駆動することで低電圧で大きな変位を実現した。

253. **InGaAsP lasers on GaAs fabricated by the surface activated wafer direct bonding method at room temperature**

T. R. CHUNG<sup>1</sup>, N. HOSODA<sup>1</sup>, T. SUGA<sup>1</sup>, H. TAKAGI<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup>Univ. Tokyo)

Japanese journal of applied physics 37-3B  
(1998-3), pp.1405~1406

真空中での表面活性化法により、表面にレーザーダイオード活性層を形成したインジウムリンとガリウム砒素のウェハーを常温で接合した。常温での接合は、これら材料の表面の酸化膜を不活性ガスビームによりエッチング除去することで可能となった。接合界面の電気特性は良好なオーミック性を示した。

254. **1.3 μm InGaAsP/InP lasers on GaAs substrate fabricated by the surface activated wafer bonding method at room temperature**

T. R. CHUNG<sup>1</sup>, N. HOSODA<sup>1</sup>, T. SUGA<sup>1</sup>, H. TAKAGI<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup>Univ. Tokyo)

Applied physics letters 72 (1998-3), pp.1565~1566

表面活性化法により、GaAs基板上に常温で接合したInGaAsP/InP系のレーザーダイオードの発光特性について検討した。接合時のArビームエッチングによるレーザーダイオードの特性劣化はほとんどなく、GaAs基板上に波長1.3ミクロンのレーザーの発信に成功した。

255. **Direct atomic observation of silicon/silicon contact by time-resolved high-resolution transmission electron microscopy**

T. KIZUKA<sup>1</sup>, K. HOSOKI<sup>1</sup>, N. TANAKA<sup>1</sup>, H. TAKAGI,  
M. NARUSE<sup>2</sup>, S. DEGUCHI<sup>2</sup> (<sup>1</sup>Univ. Nagoya, <sup>2</sup>JEOL Ltd.)

Proc 4th Special Symp Adv Mater High-Tech Mater 98 (1998-5), pp.177~180

透過電子顕微鏡中において試料を原子レベルで移動させることが可能な試料ホルダーを開発し、シリコン同士の微小接触における原子挙動をリアルタイムで観察した。真空中での接触によりシリコン及びシリコン酸化膜間において、原子レベルでの結合が常温で形成され、その接合強度は母材強度に匹敵するものである

ことが確認された。

256. **インターネット対応の溶接データベースシステム(1)**

小林 秀雄

社団法人 ボイラー・クレーン安全協会  
誌 31-4 (1998-7), pp.39~46

機械研では、インターネット上で利用できる溶接加工データベースを公開している。本号では、溶接データベースシステムの核となっている複式アーク溶接を中心にデータベースの仕様を述べた。すなわち1)複式アーク溶接法では、装置とその溶接施工条件の設定方法、2)溶接データベースの仕様では、データベースの設計概念を述べた。

257. **Effect of Surface Roughness on Room Temperature Wafer Bonding by Ar Beam Surface Activation**

H. TAKAGI, R. MAEDA, T. R. CHUNG<sup>1</sup>, N. HOSODA<sup>1</sup>,  
T. SUGA<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Univ. Tokyo)

Japanese Journal of Applied Physics 37-0  
(1998-7), pp.4197~4204

真空中でのアルゴン高速原子ビームによる表面エッチングを用いて、シリコンウェハーを加熱処理なしに常温で直接接合する方法を開発した。ウェハー接合では表面粗さは接合性に大きく影響するが、アルゴンビームによるエッチングでは、エッチングの進行に伴い表面粗さは次第に増大する。そのため、表面粗さと接合性の関係を実験的に検討した。この結果と、弾性論を用いた理論解析の比較から、接合達成に必要な表面形状の条件を明らかにした。

258. **LIGAプロセス**

前田 龍太郎

日刊工業新聞社 (1998-8),

LIGA技術で作成した静電型回転アクチュエータ、リニアアクチュエータについて作成法、性能に関する研究動向を解説した。またLIGA技術で作成したセラミックス構造体及びLIGA技術と競合関係にある放電加工法について微細金型加工法について解説した。

259. **インターネット対応の溶接データベースシステム(2)**

小林 秀雄

社団法人 ボイラー・クレーン安全協会  
誌 31-5 (1998-9), pp.11~17

機械研では、インターネット上で利用できる溶接加工データベースを公開している。本号では、公設試のアンケート調査をもとにインターネットシステムの開発の背景を紹介し、その結果を参考にして、本システムの開発の経過を述べた。さらに、公開から2年間で

6万件を超えるアクセス状況から、インターネット利用による、技術の共有化の有効性についても紹介した。

**260. Application of Gas Jet Deposition Method to Piezoelectric Thick Film Miniature Actuator**

ANDREAS SCHROTH (NEDO Fellow), R. MAEDA, J. AKEDO, M. ICHIKI

Jap. J. Appl. Phys. 37-9B (1998-9), pp.5342 ~ 5344

超微粒子を高速で基板に堆積させるガスジェット法により圧電素子PZT膜を堆積させた。厚さ50ミクロン程度のステンレス鋼の上に数十ミクロンのPZTを堆積することによりミニチュアアクチュエータを世界で初めて試作した。試作したアクチュエータは光スキャンニング用のデバイスで、FEM解析による振動特性と、実測値を比較した。

**261. Low-temperature direct bonding of silicon and silicon dioxide by the surface activation method**

H. TAKAGI, R. MAEDA, T. R. CHUNG<sup>1</sup>, T. SUGA<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Univ. Tokyo)

Sensors and Actuators A 70-1-2 (1998-10), pp.164 ~ 170

真空中でのアルゴン高速原子ビームによる表面エッチングを用いて、シリコンウェハーを加熱処理なしに常温で直接接合する方法を開発した。本方法はシリコンの酸化膜の接合にも適用可能であるが、接合強度はシリコン半導体の接合の場合の半分程度になった。また、アルゴンビームエッチング後の表面の再酸化によっても同様の強度の低下がみられた。このようなことから、酸化物表面は常温接合に対する活性が低いことが示された。

**262. A self scanning micro-SFM device using double PZT films**

J. CHU (RIPE, NEDO fellow), R. MAEDA, T. ITOH<sup>1</sup>, K. KATAOKA<sup>1</sup>, T. SUGA<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Univ. of Tokyo)

Proceedings of 1998 China-Japan Bilateral Symp. on Advanced Manufacturing (1998-10), pp.256 ~ 262

微小自己走査型原子間力顕微鏡を開発した。今回は3軸の駆動を可能とするためにブリッジ構造をとり、かつ分割電極を形成した。また変位量の増大を行うために成膜するPZT層を2重層とすることに成功した。また各々の膜の厚さはゾルゲル法では最高記録と思われる3.2ミクロン厚さを達成した。

**263. Micro scanner actuated by PZT thin film**

R. MAEDA, A. SCHROTH (NEDO Fellow), T. IMAI<sup>1</sup>, C. LEE<sup>1</sup> (<sup>1</sup>JST)

Proceedings of China- Japan Bilateral Symposium on Advanced Manufacturing (1998-10), pp.226 ~ 231

ゾルゲルPZTを利用したマイクロアクチュエータを試作した。微小な金属のミラーをこのマイクロアクチュエータで駆動するマイクロスキャナーを製作し、レーザー光の走査を行うことに成功した。現在ミラーのふれ角度は6.5であり、共振周波数は約80kHzを達成した。

**264. Present State of the Environmental Issues in Industry in Japan, - ISO14000, LCA and Magnesium Alloys -**

S. SADO, T. SANO

Proceedings of International Workshop on Environmental and Economic Issues in Metal Processing (1998-11), pp.37 ~ 47

日本の工業界における環境問題への取り組みのうち、ISO14000、LCAへの取り組み、マグネシウム合金の利用状況についてWWWページに見られる状況などから現状を報告する。

**265. 電子ビームによる金属の表面処理**

岩田 篤

レーザー協会誌 23-4 (1998-12), pp.37 ~ 40

電子ビームによる金属の表面改質について、概論的に解説した。レーザーの専門家に対し、電子ビームによる材料処理の歴史、電子ビーム表面改質の種類、それらの実際の改質方法、電子ビーム表面改質のためのハードウェア、レーザー表面改質と比べた電子ビーム表面改質の特徴、電子ビーム表面改質の実用例、電子ビーム表面改質に関する最近の動向について述べた。

**266. Evaluation of Economic Performance of the Prototype Micro-factory by Production Line Simulaton**

S. SADO, M. TANAKA, Y. TATSUE, Y. ISHIKAWA<sup>1</sup>, K. FURUTA<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Micromachine Center)

Microfactory: Proceedings of International Workshop on Microfactories (1998-12), pp.57 ~ 62

歯車を作成する試作マイクロファクトリシステムの生産性、エネルギー消費を生産ラインシミュレーション実験によって評価した。製造装置の稼働率、仕掛品の待ち時間、工場システムのエネルギー消費を明らかにした。

267. **Deposition and patterning technique for realization of Pb(Zr0.52,Ti0.48) thick film micro actuator**

R. MAEDA, Z. WANG, J. CHU (RIPE, NEDO Fellow), J. AKEDO, M. ICHIKI, S. YONEKUBO (Precision Technology Research Institute of Nagano Prefecture)

Japanese Journal of Applied Physics 37-12B (1998-12), pp.1566 ~ 1569

1 ミクロン以上の厚さのPZT材料を利用してマイクロアクチュエータを製作した。製作した手法はゾルゲル法、エキシマレーザアブレーション法、ジェットプリント法である。前2者についてはパターンニングはECRエッチングを用い、ジェットプリント法についてはリフトオフ法、およびマスク法を用いた。それぞれの方法で得られた膜の電気的特性等の優劣について論じた。

268. ガスデポジション法によるPZT構造体の製作

明渡 純

先端加工技術 45 (1998-3), pp.4 ~ 7

ガスデポジション法をPZT等の電圧セラミックスを微細形成に適用した場合の利点について述べた。エッチングの困難な厚さ 1 μm以上の構造体の形成がマスクを用いて簡単にでき、室温のプロセス温度で構造体に圧電性があることも示された。

269. 解説 海外でのリサイクル設計

増井 慶次郎, 石井 浩介 (スタンフォード大学)

精密工学会誌 64-4 (1998-4), pp.522 ~ 525

米国スタンフォード大学における環境調和型設計手法について紹介するとともに、著者が同研究室で行った研究成果を中心に海外でのリサイクル設計の研究動向を解説している。具体的には、リサイクル率向上のための設計変更を支援するリサイクル性評価マップやリサイクル戦略を決定付けている工業製品の特徴抽出などについて解説している。

270. **An International Comparison of Product End-of-Life Scenarios and Legislation for Consumer Electronics**

C. BOKS (Delft Univ.), J. NILSSON (Linköping Univ.), K. MASUI, K. SUZUKI (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), C. M. ROSE<sup>1</sup>, B. H. LEE<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Stanford Univ.)

1998 IEEE International Symposium for Electronics and the Environment Conference (1998-5), pp.19 ~ 24

廃家電製品処理の現状は国や地域によって大きく異

なる。本稿では、日本、欧州、米国の廃製品処理および規制などについて国際比較を行い現状を把握すると同時に、将来的な展望について述べている。

271. **How Product Characteristics Determine End-of-Life Strategies**

C. M. ROSE<sup>1</sup>, K. ISHII<sup>1</sup>, K. MASUI (<sup>1</sup>Stanford Univ.)

1998 IEEE International Symposium for Electronics and the Environment Conference (1998-5), pp.322 ~ 327

製品エンドオブライフ戦略を決定付けている製品特徴を抽出するため、インクジェットプリンタ、複写機、掃除機、洗濯機、テレビ、レンズ付きフィルムを対象として、分解などを通じて分析を行った。種々の製品特徴を分解要因、材料要因、外部要因、インパース・サプライチェーン要因のように分類し、特に戦略決定には、外部要因に分類される製品寿命および技術革新周期が支配的であることを明らかにした。

272. **Jet molding system for realization of three dimensional micro-structure**

J. AKEDO, M. ICHIKI, K. KIKUCHI, R. MAEDA

Sensors and Actuators A 69 (1998-6), pp.106 ~ 112

ガスデポジション法を微細形成技術として用いた新しい微小構造の形成方法について述べた。金属材料で緻密な構造体を形成する際の問題点や解決方法、ならびにPZT等のセラミックスを形成した結果について報告した。

273. 3次元微細表面形状を旋削により創成する

岡崎 祐一

ツールエンジニア 36-6 (1998-6), pp.55 ~ 59

圧電アクチュエータを使った高速工具サーボを、超精密旋盤に搭載し、主軸回転速度に対して十分に高速で工具切り込み量を制御することによって、回転対称でない自由で精密かつ微細な表面形状が創成できることを、実例をもって紹介し、この方法の幅広い応用の可能性を示唆した。

274. **New Functional Ceramic Deposition Method for MEMS**

J. AKEDO, M. ICHIKI, R. MAEDA

Ferroelectrics (1998-8), pp.759 ~ 766

サブミクロンオーダーの粒径の超微粒子セラミックス材料をガスジェットにより加速し薄膜化する新しい手法を報告した。PZT、Niフェライト、チタニアについて室温成膜を行い、その特性を評価した。

### 275. Characterization of Product End-of-Life Strategies to Enhance Recyclability

C. M. ROSE<sup>1</sup>, K. A. BEITER<sup>1</sup>, K. ISHII<sup>1</sup>, K. MASUI  
(<sup>1</sup>Stanford Univ.)

1998 ASME Design for Manufacturing Symposium DETC98/DFM-5742 (1998-9), pp.1 ~ 9

リサイクル性を向上させるためには、個々の設計変更在先立ち製品エンドオブライフに関する戦略決定を行わなければならない。本稿では、製品特徴を入力することで最適な戦略を提言するシステム構築について述べている。システムは、WWWベースのアプリケーションとして動作するために、ネットワーク経由での利用が可能である。

### 276. Scaling Property Estimation of Thermal Sea Surface Turbulent Structures on NOAA-Imagery

I. ALEXANIN<sup>1</sup>, M. ALEXANINA<sup>1</sup>, E. HERBEK<sup>1</sup>, O. RYABOV (<sup>1</sup>Russian Sci. Academy)

IEEE/OES Conference Proceedings 2 (1998-9), pp.1000 ~ 1005

人工衛星NOAAからの海表面像のフラクタル解析に基づき、海洋表面層部の乱流構造を解析した。

### 277. 管内検査装置用空圧式非接触保持機構

小澤 則光, 水原 清司, 明渡 純, 清宮 紘一

日本原子力学会誌 40-9 (1998-9), pp.59 ~ 62

原子力プラントの低放射化のためには、大量に使われる管状部材内面の平滑加工と加工面の健全性の確認が極めて重要である。そこで、鏡面加工した小径管内面の計測と評価を行うため管内挿入型光学ヘッドを保持・案内する空圧式非接触保持機構を開発した。これはノズルから管壁に空気噴流を噴出させて自己を保持するもので、保持剛性、保持姿勢など保持性能の高いものを実験的に探索した。その結果、保持剛性： $2\text{N}/\mu\text{m}$ 、保持姿勢は管内での傾き角：1分以内という性能に達した。

### 278. Fast tool servo system and its application to three-dimensional fine surface figures

Y. OKAZAKI

98 ASPE Annual meeting (1998-10), pp.100 ~ 103

圧電アクチュエータを使った高速工具サーボを、超精密旋盤に搭載し、主軸回転速度に対して十分に高速で工具切り込み量を制御することによって、回転対称でない自由で精密かつ微細な表面形状が創成できることを、実例をもって紹介し、この方法が幅広い応用の

可能性を示唆した。

### 279. Laser Displacement Meter Application for Milling Diagnostics

O. RYABOV, K. MORI, N. KASASHIMA

Optics and Lasers in Engineering 30 (1998-10), pp.251 ~ 263

フライス工具の損耗をインプロセスで診断することを目的にレーザ変位計を応用する方法を開発した。変位測定と輝度測定を併用したハイブリッド法により、形状的にマクロなチッピングからミクロな逃げ面摩耗まで測定することができる。

### 280. タグチメソッドによる工作機械設計のロバスト性評価法

三島 望, 石井 浩介(スタンフォード大学), 森 和男

精密工学会誌 64-10 (1998-10), pp.1502 ~ 1506

工作機械の加工動作を記述する形状創成関数は、工作機械の構造と加工誤差を関係づける。筆者らは、形状創成関数を導出する手順を述べた後、これにタグチメソッドを適用して、設計パラメータなどが誤差に及ぼす影響を同定する。Tベース旋盤に関する結果は主軸中心とベースとの距離がこの形式の機械の加工性能に最も重要な因子であることを示す。同様に、本手法が工作機械の設計指針導出に有益なツールであることが実証される。

### 281. Experimental analysis of friction and wear characteristics of cermics under no lubrication plane-plane contact conditions

K. MIZUHARA, N. OZAWA

Proceedings of the ASPE 1998 Annual Meeting, (1998-10), pp.399 ~ 402

工作機械案内面の高速化に向け、新たに高速摺動摩擦試験装置を試作した。今回本装置を用い、無潤滑状態時のアルミナセラミックス同士および炭化珪素同士の組合せにおいて、面圧に対するすべり摩擦係数および表面あらさ変化に関して行った実験結果について報告する。

### 282. A Sensor-integrated Cutting Insert for On-line Tool Wear

O. RYABOV, K. MORI, J. AKEDO

Proceeding of 4th Japan/France/2nd Asia-Europe Congress on Mechatronics 2 (1998-10), pp.743 ~ 745

工具摩耗をオンラインで定量的に求めることができるセンサが一体化されたインサートを開発した。その

原理、制作方法を紹介し、加工実験でセンサ機能の実用性を検証したことを述べる。

**283. Deposition Method using Ultrafine Particle Beam and its Applications**

*J. AKEDO*

Proceeding of International Symposium on ECOMAP'98, 1 (1998-11), pp.178 ~ 185

EPID法やガスデポジション法など超微粒子の衝突現象を基本とする成膜手法については筆者らが得た成膜メカニズムに関する新しい知見や圧電セラミックスに適用した結果を通してMEMSなどへの応用展開の可能性について報告した。

**284. Non-contact Air Holding Mechanism for Inspection of Pipe Inner Walls**

*N. OZAWA, K. MIZUHARA, J. AKEDO, K. SEIMIYA*

Journal of Nuclear Science and Technology 35-12 (1998-12), pp.952 ~ 957

原子カプラントの低放射化のためには、大量に使われる管状部材内面の平滑加工と加工面の健全性の確認が極めて重要である。そこで、鏡面加工した小径管内面の計測と評価を行うため管内挿入型光学ヘッドを保持・案内する空圧式非接触保持機構を開発した。これはノズルから管壁に空気噴流を噴出させて自己を保持するもので、保持剛性、保持姿勢など保持性能の高いものを実験的に探索した。その結果、保持剛性： $2\text{N}/\mu\text{m}$ 、保持姿勢は管内での傾き角：1分以内という性能に達した。

**285. Electrical Properties of Direct Deposited Piezoelectric Thick Film Formed by Gas Deposition Method-Annealing effect of the deposited films-**

*J. AKEDO, N. MNAMI, K. FUKUDA (Honda Engineering CO.) M. ICHIKI, R. MAEDA*

Ferroelectrics (1998-12)

圧電アクチュエータに必要とされるPZT厚膜をガスデポジション法で形成し、応用上重要となるプロセス温度の低温化を検討した。膜の分極特性や誘電率を評価し、最適な熱処理条件を検討した結果、600℃で優れた電気特性を得ることができた。

**286. 素形材とリサイクル設計**

増井 慶次郎

機械の研究 51-1 (1998-12), pp.182 ~ 188

製品特徴に基づいた最適エンドオブライフ戦略を提言した。その戦略を実行する上で必要となる設計支援ツールを開発し、リサイクル業者からの声を製品設計に反映させることを容易にした。また一方で、これら

の活動の中で素形材産業の担う役割について言及した。

**287. Fast tool servo system and its application to three-dimensional fine surface figures**

*Y. OKAZAKI*

Proc. of International Workshop on Microfactories, pp.81 ~ 86

圧電アクチュエータを使った高速工具サーボを、超精密旋盤に搭載し、主軸回転速度に対して十分に高速で工具切り込み量を制御することによって、回転対称でない自由で精密かつ微細な表面形状が創成できることを、実例をもって紹介し、この方法が計測の標準となる精密形状や軸受を含む幅広い応用に対して有効であることを示した。

**288. Web-Based User Interfaces for Machine Tool Monitoring and Control**

*I. GONCHARENKO<sup>1</sup>, F. KIMURA<sup>1</sup>, K.MORI<sup>1</sup> (Univ. of Tokyo)*

Proc. 31st CIRP Int. Seminar on Manufacturing Systems (1998-5), pp.448 ~ 453

インターネットを介して遠隔で工作機械の加工状態をリアルタイムでモニタリングする方法を開発。機械の動作状況を画像情報として送信するにはリアルタイム性に限界があることを示し、これを克服する手法をVRMLを用いたパラメータ駆動型アニメーション法によるモニタリングシステムを開発した。

**289. フライス加工におけるインプロセス工具診断法**  
森和 男

機械の研究 50-7 (1998-7), pp.735 ~ 746

フライス加工におけるインプロセス工具損耗診断法として、レーザ変位計を用いた方法、切削力をウェーブレット変換を用いて診断する方法、音をSDP法を用いて分析する方法等について解説。

**290. 可視化によるエンドミル工具損耗診断**

森和 男, 澤井 信重

機械技術 46-7 (1998-7), pp.42 ~ 48

エンドミル工具の損耗を加工中に直接観察する方法として、レーザ変位計による距離と輝度信号を用いて形状と摩耗を可視化する方法、ならびにCCDを用いて切削油剤を介して工具表面の画像データを得る方法の二つを解説。

**291. MWDにおける掘削管の伝送特性を利用したマッドパルスの信号処理**

碓井 雄一, 宮沢 伸一, 澤井 信重

日本地熱学会誌 20-3 (1998-7), pp.201 ~

207

掘削管中を進む途中で歪んだマッドパルスから伝送情報を正しくとりだすために、参照信号を載せたマッドパルスを使って掘削管の伝達特性を求めてパルスの歪みを修正した。高速マッドパルス列でも個々のパルスを分離することができ、情報伝送速度の向上が図られた。

## 292. 損耗センサ付切削工具

森和 男

M&amp;E 10 (1998-10), pp.254 ~ 258

損耗量が加工中でも検知できるセンサが工具逃げ面上に一体化されたインサートを開発した。センサは摩耗の進行に伴って電気抵抗が不連続に変化する。この不連続数を検出することによって摩耗量を知ることができる。

## 293. 接着継手の被着体表面粗さ形状が接着強度に及ぼす影響

坂田 興亜<sup>1</sup>, 碓井 雄一, 嶋本 光芳<sup>1</sup>, 河野 和豊<sup>1</sup>, 木下 凱文<sup>1</sup>, 宮下 晃一<sup>1</sup> (鳴門教育大学)

精密工学会誌 64-10 (1998-10), pp.1492 ~ 1496

高分子接着剤を使った継手の、被着体表面形状および粗さの大きさと界面破壊強度との関係を実験的に求めて、被着体表面形状の異方性と機械的引っ掛かり効果による接着継手の剪断強度との関係を確かめた。重ね継手の接着強度を最低とするような表面粗さの存在を示し、そのメカニズムを解明した。

## 294. Re-Sharpening Endmill Side-Edge on a Machining Center

Y. USUI, S. MIYAZAWA, LEE JONG-HANG (Korea Polytechnic Univ.), C. ENDO<sup>1</sup>, H. AKEMATSU<sup>1</sup>, Y. SAKURAI<sup>1</sup> (Takashima Sangyo Co. Ltd)

Proceedings of American Society for Precision Engineering 18 (1998-10), pp.124 ~ 127

エンドミル加工における工具偏心の影響を取り除くために、工作機械主軸に工具を取り付けた状態で工具再研削を行った。研削方法と研削によって得られた工具の精度について報告する。

## 295. Mechanism of Atomic Layer Epitaxy of AlAs

S. HIROSE, M. YAMAURA<sup>1</sup>, A. YOSHIDA<sup>1</sup>, H. IBUKA<sup>1</sup>, K. HARA<sup>1</sup>, H. MUNEKATA<sup>1</sup> (Tokyo Institute of Technology (TIT))

Journal of Crystal Growth 194 (1998-11), pp.16 ~ 24

原子層成長の成長機構について理論的・実験的側面から議論し、その結果1層での自己停止は成長阻害基の存在、2層と3層は金属Al層の形成によると解明した。

## 296. 人間協調・共存型ロボットシステムの研究開発 (プラットフォームベースト・ヒューマノイド・プロジェクト)

谷江 和雄, 平井 成興 (電子技術総合研究所)

日本ロボット学会誌 16-3 (1998-4), pp.295 ~ 300

工業技術院の産業科学技術応用研究開発制度下で行われているプロジェクト「人間協調共存型ロボットシステムの研究開発」の開発意義、基本コンセプト、開発目標について解説した。少子高齢化社会を迎え、人間型ロボットの人のいる空間での作業支援応用を考えるとプロジェクトの目標であることを述べた。

## 297. Motion Planning for a Mobile Manipulator Considering Stability and Task Constraints

QUIANG HUANG (STA Research Fellow), S. SUGANO (Waseda Univ.), K. TANIE

Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation (1998-5), pp.2192 ~ 2198

ロボットがオフィスや家庭内等の作業への応用を考えた場合、小型移動機構に搭載されたマニピュレータの制御が必要になる。中でも特に、システムの安定性(転倒防止)は重要な問題となり、安定に移動しながら作業することができるヴィークルとマニピュレータの協調運動を導出しなければならない。本論文では、手先作業追従として与えられた場合の、ヴィークルとマニピュレータの運動計画について述べた。

## 298. Detection of Discrepancies and Sensory-Based Recovery for Virtual Reality Based Teleoperation Systems

A. KHEDDAR<sup>1</sup>, K. TANIE, P. COIFFET<sup>1</sup> (LRP/CNRS)

Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation (1998-5), pp.2877 ~ 2883

マスタとスレーブの距離が離れたいわゆる長距離間マスタ・スレーブロボット遠隔操作では、マスタ・スレーブ間の通信遅れが操作性に深刻な影響を及ぼす。その解決法の一つは、スレーブのモデルをマスタに構築し、それをあたかもスレーブのごとく考えて操作する系を構築することである。しかし、この方法は、モデルと実システム間に誤差があると十分機能しない。本論文では、多少の誤差があるモデルに基づき指示さ

れた指令でも、目的のスレーブ動作が実行されるようにするための誤差解消法の一手法を提案した。

299. **Force Display and Its Application to Telerobotics**

K. TANIE

Proceedings of The Fourth ECPD International Conference on Advanced Robotics, Intelligent Automation and Active Systems (1998-8), pp.26 ~ 31

仮想現実感技術では、視覚情報だけでなく、仮想世界で起きた接触により力情報もリアルに生成する技術の確立が不可欠である。この種の研究は力ディスプレイの研究と呼ばれるが、本論文では、我々が従来から行っている仮想空間における力の生成法を述べるとともに、また、その遠隔操作技術への応用についても解説した。

300. **Evaluation of Compensation Ratios in a Power Assist System Based on Operational Sensation**

Y. HAYASHIBARA (Toin Univ. of Yokohama), K. TANIE, H. ARAI, H. TOKASHIKI (Univ. of Tsukuba)

Electrical Engineering in Japan, 124-3 (1998-9), pp. 57 ~ 63

人の筋力を増幅し重負荷の搬送を行うパワーアシスト装置において、アクチュエータの飽和を回避するために、重力成分とその他の成分を個々の比率で補助する制御系を提案してきた。これらの比率のバランスは、操作者が負担する負荷の動特性を決定するため、これらの比率を調節すれば、操作感を改善することができる。パワーアシスト装置を用いた心理物理実験を行い、操作感の観点からどのような比率の組み合わせが望ましいかを論じる。

301. **An Approach to Vibration Control of Multiple-Pendulum System by Wave Absorption**

M. SAIGO, N. TANAKA (Tokyo Metropolitan Institute of Technology), K. TANI (Gifu Univ.)

Transactions of the ASME, Journal of Vibration and Acoustics 120-April (1998-4), pp.524 ~ 533

多重懸垂系の新しい振れ止め制御法として、計算機内に構築した懸垂振動系のオンラインシミュレーションを用いた波動制御の原理に基づく制振制御法を考案し、数値シミュレーション及び実験によりその有効性を確認した。実験結果は数値シミュレーション結果を確認するとともに、クレーン等の懸垂搬送機器への適用可能性を明らかにした。本制御法が懸垂体の形状や運動自由度数等に依存しないロバストな制御法であることも実証された。

302. **静的歩容を規範とした2足歩行型脚車輪ロボットの階段昇降制御**

松本 治, 梶田 秀司, 西郷 宗玄, 谷 和男 (岐阜大学)

日本ロボット学会誌 16-6 (1998-8), pp.868 ~ 875

単純な構造で段差や階段を動的に乗り越える能力を持つ脚車輪型ロボットの研究を行っている。本論文では、動的に階段昇降可能な脚車輪型ロボットとして試作した2足歩行型脚車輪ロボットによる高速階段昇降を実現するため、ロボットの重心位置を接地車輪上に保持する動的軌道生成法及び制御法を提案する。そして、提案した軌道を用いて歩行及び階段昇降実験を行い、提案した手法の有効性を実証する。

303. **Fast Passing over Steps with Unknown Height Using a Laser Range Sensor by a 'Variable Structure Type Four-Wheeled Robot'**

T. KIKKAWA (Hokkaido Industrial Research Institute), O. MATSUMOTO, K. TANI (Gifu Univ.)

Proc. of The 3rd International Conference on Advanced Mechatronics (1998-8), pp.620 ~ 625

単純な構造で段差や階段を動的に乗り越える能力を持つ脚車輪型ロボットの研究を行っている。本論文では、構造可変型4輪ロボットにレーザ式距離センサを取り付け、前方に存在する段差の場所及び高さを走行しながら計測できたこと、及びそれにより得られた情報をもとに生成した動的軌道を用いて高速な段差昇降が実現できたことについて報告する。

304. **Development of a Self-Contained Wall Climbing Robot with Scanning Type Suction Cups**

T. YANO, S. NUMAO<sup>1</sup>, Y. KITAMURA<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Nippon Koei Corporation)

11th International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS98) 1(1998-10), pp.249 ~ 254

走査型吸盤を用いた壁面歩行ロボットはチューブやケーブルが地上の機器とつながっているはその行動範囲が制限されるばかりでなくそれらがロボットの負担となりロボットの吸着性能に悪影響を及ぼす。そこで、真空ポンプ、電池、モータドライバ、CPU等を積載し、無線で操縦する自立型に壁面歩行ロボットを改造した。本報では有線方式と無線モデム方式、PHS方式および携帯電話による送信方式を比較し、最終的にPHS方式を採用した経緯と実験結果について報告する。

305. **Dynamic trajectory control of passing over stairs by a biped type leg-wheeled robot with nominal reference of static gait**

O. MATSUMOTO, S. KAJITA, M. SAIGO, K. TANI (Gifu Univ.)

Proc. of 11th IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS98) (1998-10), pp.406 ~ 412

単純な構造で段差や階段を動的に乗り越える能力を持つ脚車輪型ロボットの研究を行っている。本論文では、動的に階段昇降可能な脚車輪型ロボットとして試作した2足歩行型脚車輪ロボットによる高速階段昇降を実現するため、ロボットの重心位置を接地車輪上に保持する動的軌道生成法及び制御法を提案する。そして、提案した軌道を用いて歩行及び階段昇降実験を行い、提案した手法の有効性を実証する。

306. **Development of MEL HORSE**

H. TAKEUCHI

CLAWAR98 Proceedings (1st International Symposium on Mobile, Climbing and Walking Robots98) (1998-11), pp.21 ~ 26

MEL HORSEの開発について述べる。MEL HORSEは4脚型のロボットで、今回は脚運動時の姿勢について述べている。脚機能分担化の概念において、前脚に適した脚姿勢、後脚に適した脚姿勢を数値計算によって解析した。また、新しい実験装置MEL HORSE 2についてビデオを交えて報告した。

307. **構造的に不安定な移動ロボットの協調行動による物体の運搬**

城間 直司 (筑波大学), 松本 治, 谷 和男 (岐阜大学)

日本機械学会論文集 C編 64-628(1998-12), pp.4694 ~ 4701

本研究では車輪型倒立振り子のような構造的に不安定なロボットを取り上げ、それによる協調運搬を目指している。ロボットに加わる外力に対する安定直立、物に加える力の制御、物の動きへの追従を総合的に行う手法の確立を目指し、本報告ではロボットに加わる外力を推定し直立を保つ安定化制御系、物に加える力を制御する力制御系、及びそれらを用いた制御実験について報告する。

308. **指先での転がり接触を考慮した多指ハンドによる三次元把握の運動学・静力学および剛性効果**

前川 仁, 谷江 和雄, 小森谷 清

日本ロボット学会誌 16-2 (1998-3), pp.205 ~ 213

多指ハンドによる把握動作に関して指先での転がり

接触を考慮した解析を行い、ハンド・物体・接触位置の運動の関係および指先力・接触力・物体に作用する力・モーメントの関係を定式化した。さらに、接触力の変動・転がりによる接触位置の変動に起因して物体変位に対する剛性効果が生じることを導いた。

309. **Haptic Display for Object Grasping and Manipulating in Virtual Environment**

H. MAEKAWA, JOHN. M. HOLLERBACH (Univ. of Utah)

Proc. of Int. Conf. on Robotics and Automation (1998-5), pp.2566 ~ 2573

操縦者の腕にSARCOS社製油圧駆動10関節ロボットアームを装着し、操縦者の腕・手の動きに応じてロボットアームの関節トルクを適切に制御することにより、仮想環境内に存在する物体を触ったり、2本指で掴んで操ってまた離すという一連の動作の力感覚を操縦者に提示する技術を開発した。本論文では力提示技術の構成・実現方法を述べた後、仮想環境内での把握・操り動作実験の様子を示す。

310. **Swing Motion Control of Casting Manipulation (Experiment of Swing Motion Control)**

H. ARISUMI, T. KOTOKU, K. KOMORIYA

IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA98), 4, (1998-5), pp.3522 ~ 3527

機構の一部に柔軟な紐を含むキャストイングマニピュレータを用いた物体捕獲の基本動作の一つであるスイング動作について、紐の張力ならびに劣アクチュエータ系の特性を考慮した制御法を提案し、試作機による実験を通して提案手法の実現可能性を示した。

311. **Collision-tolerant Control Algorithm for Mobile Manipulator with Viscoelastic Passive Trunk**

H. O. LIM<sup>1</sup>, K. YOKOI, Q. HUANG, S. R. OH (KIST, Korea), A. TAKANISHI<sup>1</sup>, K. TANIE (Waseda Univ.)

Proc. 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation (1998-5), pp.13 ~ 20

迫り来る高齢化社会を支えるためには、生活支援に利用でき、日常生活の質を向上させる人間共存型ロボットの普及が必要である。人間共存型ロボットには、人と予期せぬ接触をしても怪我をさせない高い安全性が要求される。本報では、このような要求を満足する人間共存型ロボットとして、表面および腰部に受動的な粘弾性要素を備えた移動マニピュレータを取り上げ、その衝撃力低減に関する有効性を、実験的に検証した結果を報告する。

312. **Multi-robot teleoperation using direct human hand actions**

A. KHEDDAR<sup>1</sup>, C. TZAFESTAS<sup>1</sup>, P. COIFFET<sup>1</sup>, T. KOTOKU, K. TANIE (<sup>1</sup>LRP/CNRS)

Advanced Robotics 11-8 (1998-6), pp.799 ~ 825

商用通信回線ISDNを介して、フランスに置かれた操縦装置から、日本、フランスの各地に置かれたISDN回線に接続された4台の形の異なるロボットを遠隔操作する手法を提案し、将来の通信回線を活用するロボット技術の可能性を示した。

313. **Study on Casting Manipulation (Experiment of Swing Control and Throwing)**

H. ARISUMI, T. KOTOKU, K. KOMORIYA

IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS98), 1, (1998-10), pp.494 ~ 501

紐状の柔軟な構成要素を含むマニピュレータを安定にスイングさせる手法を実験的に示した。また、物体を捕獲するグリッパを投射したとき、投射タイミングの遅れと繰り出される紐の摩擦の影響を受けることを実験的に示し、それらを考慮して、投射計画の補正方法を提案した。

314. **Macro-Micro Bilateral Teleoperation based on Operational Force Feedforward - Operational Force Feedforward Bilateral Teleoperation and its Dexterity -**

K. KANEKO, H. TOKASHIKI (Univ. of Tsukuba), K. TANIE, K. KOMORIYA

Proc. of 1998 IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robot and Systems 3 (1998-10), pp.1761 ~ 1769

マクロ環境とは力学的挙動が異なるマイクロ環境の物体を、遠隔から操作する際、その操作性は制御性能に大きく左右される。本稿では、操作性の向上を図る制御系として、操作力フィードフォワードに基づくバイラテラルテレオペレーションを提案し、その操作性に関する理論的な解析を行う。また、基礎実験の結果についても報告する。

315. **キャストイングマニピュレーションに関する研究 (第1報、可変長ひも状柔軟リンクを有するマニピュレータの提案とそのスイング制御法)**

有隅 仁, 神徳 徹雄, 小森谷 清

日本機械学会論文集 C編 64-626 (1998-10), pp.3854 ~ 3861

機構の一部に紐のような柔軟かつ可変長なリンクを含む新しい形態のマニピュレータを提案するとともに、

物体捕獲の基本動作の一つであるスイング動作の制御法を提案した。また、数値計算結果を用いたシミュレーションにより、提案手法の実現可能性を示した。

316. **Robots in Human Environments: Basic Autonomous Capabilities**

O. KHATIB<sup>1</sup>, K. YOKOI, O. BROCK<sup>1</sup>, K. CHANG<sup>1</sup>, A. CASAL<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Stanford Univ.)

Proc. IARP First Int. Workshop on Humanoid and Human Friendly Robotics (1998-10), pp.III-2-1 ~ III-2-12

ロボットが人間共存環境下で自律動作と人に誘導される動作を行うための基本的な能力について論じる。これらの能力は、サービス、建設作業、屋外作業など、多くの新しい応用分野へロボットが進出する際に、有功となる。これらのロボットには、人が物理的な作業を行う場合の「アシスタンス」ができることが要求される。本論文では、これらの基本的な能力について、動作制御レベル、運動修正レベルの両者について明らかにする。

317. **The first measurement of a three-dimensional coordinate by use of a laser tracking interferometer system based on trilateration**

T. TAKATSUJI<sup>1</sup>, M. GOTO<sup>1</sup>, T. KUROKAWA<sup>1</sup>, Y. TANIMURA<sup>1</sup>, Y. KOSEKI (<sup>1</sup>NRLM)

Measurement Science Technology, Institute of Physics, UK 9-1 (1998-1), pp.38 ~ 41

レーザ追尾式座標測定システムを3次元の座標を測定した結果について報告する。レーザ追尾式座標測定システムはターゲットと4つのステーションとの距離をレーザ干渉計で精密に測定するシステムである。冗長な測定を有しているためステーションの相対位置等のパラメータを自己キャリブレーションすることが可能で簡単で高精度なシステムである。本報では実際に3次元の目標の測定結果とその精度評価について報告する。

318. **可動限界到達時の脚踏換えルールに基づく4脚歩行ロボットの操縦型歩行制御**

安達 弘典, 小谷内 範穂, 新井 健生 (大阪大学), 本間 敬子, 篠原 善裕<sup>1</sup>, 西村 賢一郎<sup>1</sup> (<sup>1</sup>日清紡績)

日本ロボット学会誌 16-3 (1998-4), pp.329 ~ 336

従来の4脚ロボットの歩行制御は、与えられた移動経路に沿って脚の運動が計画されているため、突発的な進路変更に対応できなかった。本論文では、ロボットの瞬時瞬時の移動速度を指令として、リアルタイム

性の高い歩行制御手法を提案する。将来の移動経路等の情報を利用できないため、周期的な基準歩容を採用せず、脚が可動限界に達した時の脚の踏換えルールのみで、歩行を継続する。さらに、直進が続いた場合には、効率的な歩容に収束する性質も持っている。

319. **Design and Accuracy Evaluation of High Speed and High Precision Parallel Mechanism**

Y. KOSEKI, T. ARAI (Osaka Univ.), K. SUGIMOTO (Kagawa Univ.), T. TAKATSUJI<sup>1</sup>, M. GOTO<sup>1</sup> (<sup>1</sup>NRLM)

Proceedings of International Conference on Robotics and Automation 1998, (ICRA98) 3 (1998-5), pp.1340 ~ 1345

我々の研究グループで開発した高速高精度パラレルメカニズム開発の経緯と開発されたパラレルメカニズムの繰り返し位置決め精度とキャリブレーションによる絶対位置決め精度の向上と評価を行った。精度評価については新たに開発されたレーザー追尾式座標測定システムを用い高精度な測定を実現した。本発表ではシステムとその具体的使用法、評価方法について紹介し、考察を加えている。

320. **二本指マイクロハンド用操作デバイスの開発とその制御**

谷川 民生, 新井 健生 (大阪大学)

日本ロボット学会誌 16-4 (1998-5), pp.109 ~ 115

二本指マイクロハンドを容易に操作するために、人間の指の操作を考察すると共に、人間の手の動きに合わせて操作できるような操作デバイスと操作アルゴリズムについて述べる。

321. **レーザー追尾式座標測定システムを用いたパラレルメカニズムの精度評価**

小関 義彦, 新井 健生 (大阪大学), 高辻利之<sup>1</sup>, 後藤 充夫<sup>1</sup>, 杉本 浩一 (日立製作所) (<sup>1</sup>計量研究所)

計測自動制御学会論文集 34-7 (1998-7), pp.726 ~ 733

レーザー追尾式座標測定システムを用いてパラレルメカニズムの繰り返し位置決め精度の測定と絶対位置決め精度向上のためのキャリブレーションを行った。本測定システムはレーザー干渉計を用いて冗長な測定を行うことで自己キャリブレーションを行っている。本研究ではこのキャリブレーション方法と結果、考察について報告する。また測定項目と冗長パラメータの関係について論じ、それが手先座標系同定に及ぼす影響について考察する。

322. **Laser tracking interferometer system based on trilateration and a restriction for the position of its laser trackers**

T. TAKATSUJI<sup>1</sup>, Y. KOSEKI, M. GOTO<sup>1</sup>, T. KUROSAWA<sup>1</sup>, Y. TANIMURA<sup>1</sup> (<sup>1</sup>NRLM)

Proc. of SPIE Conference on Laser Interferometry IX: Applications 3479(1998-7), pp.319 ~ 326

レーザー干渉計を複数台用いて三角法と自己キャリブレーションを用いて位置を測定するシステムについて論じた。この際、レーザー干渉計は任意の位置を取れるのではなく、その位置に制限が加わることが分かった。その必要十分条件について論じた。

323. **Restriction on the arrangement of laser trackers in laser trilateration**

T. TAKATSUJI<sup>1</sup>, Y. KOSEKI, M. GOTO<sup>1</sup>, T. KUROSAWA<sup>1</sup> (<sup>1</sup>NRLM)

Measurement Science and Technology 9 (1998-8), pp.1357 ~ 1359

レーザー追尾座標測定システムはレーザー干渉計を用いて三辺測定の原理を用いて3次元座標を測定するシステムである。このとき冗長な測定で自己キャリブレーションを行うことで煩雑なセッティングを不要にしている。しかし4つの測定器を特異な配置にすると特異解に陥り、自己キャリブレーションが出来ないことがシュミレーション、実験によって明らかになった。本論文ではその理由について数学的観点から考察を加えた。

324. **Development of a Leg-Wheel Hybrid Mobile Robot**

H. ADACHI, N. KOYACHI, T. ARAI (Osaka Univ.), AARNE HALME (Helsinki Univ. of Technology)

Proc. of the 2nd Tampere International Conference on Machine Automation (1998-9), pp.145 ~ 154

屋外環境での移動機械のために考案された脚・車輪複合型移動機構を紹介する。脚機構は複雑な環境に適応して移動する事ができるが、機構や制御の複雑さ、移動速度やエネルギー効率に問題がある。一方、車輪は条件のよい移動環境では、優れた移動能力を持つ。この両者の利点を併せ持つように、脚と車輪を複合させた移動機構を試作した。複雑な環境を歩行ロボットより単純な機構で移動する事を目的としている。この機構と基本動作について報告する。

325. **マイクロマニピュレーション**

新井 健生 (大阪大学), 谷川 民生

バイオメカニズム学会誌 22-4 (1998-10),

pp.146 ~ 151

数ミクロンサイズの微小対象物を器用に操作可能な二本指マイクロハンド機構の概要及び操作例を紹介し、今後の微細操作における問題点を絡め解説を行っている。

### 326. Micro Drops for Adhesive Bonding of Micro Assemblies and Making a 3-D Structure

T. TANIKAWA, Y. HASHIMOTO (Nihon Univ.), T. ARAI (Osaka Univ.)

IEEE/RSJ International Conference Intelligent Robots and Systems (1998-10), pp.776 ~ 781

本稿では微小組立における接着接合に必要な、数ミクロンという液滴サイズの極微量な接着剤塗布方法について提案し、加えてこの手法と二本指マイクロハンドを用い微小立体構造物「マイクロかかし」の製作を行ったことに関して言及する。

### 327. Appearance Based Visual Learning and Object Recognition with Illumination Invariance

K. OHBA, Y. SATO<sup>1</sup>, K. IKEUCHI<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo)

Proc. Third Asian Conference on Computer Vision (ACCV '98) 2 (1998-1), pp.424 ~ 431

本論文は、著者らが提案してきたEigen-Window手法の問題点である、照明条件の異なる環境下での物体認識について論じ、カラー情報から、照明条件に依存しないパラメータを抽出することにより問題を解決する手法を提案した。

### 328. Facial Expression Space for Smooth Tele-Communications

K. OHBA, T. TSUKADA (Tokyo Univ. of Technology), T. KOTOKU, K. TANIE

Proc. Third IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FG '98) (1998-4), pp.378 ~ 383

本論文では、円滑なテレコミュニケーションを実現するため、ノンバーバルなコミュニケーション手法の一つである表情に注目した。ここでは画像転送でも感情抽出手法でもない、表情転送手法を提案し、固有空間手法を用いることにより、個別の表情空間を作成、対応づけを行う事により、表情転送を実現した。

### 329. A Method for Controlling a Group of Robots by an Operator

K. OHKAWA (Tsukuba Univ.), T. SHIBATA, K. TANIE

Proc. of 4th Int'l Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems (1998-5),

pp.309 ~ 318

同じ機能を持つ複数のロボットの群れ全体に対し、操作者が単純な指令を与えるだけで、ロボットに操作者の意図した作業分担を行わせるための手法を提案した。また、その有効性をシミュレーションで検証した。

### 330. The Roles of Shape and Motion in Dynamic Manipulation: the Butterfly Example

K. M. LYNCH (Northwestern Univ.), N. SHIROMA (Univ. of Tsukuba), H. ARAI, K. TANIE

Proceedings of 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'98) (1998-5), pp.1958 ~ 1963

「バタフライ」と呼ばれるジャグリングを一例として、把持によらない物体の操り技能の実現について研究した。ハンドの形状設計と物体操作を実現する運動との間に密接な関係があることを考慮し、物体の転がり運動を単純な1自由度ロボットで実現した。マニピュレータの形状と運動の設計において、しばしば設計の自由度にトレードオフが成立するという一般原理を一般的な原理として主張する。この原理はパーツフィーダなどに応用できる。

### 331. Time-scaling Control of an Underactuated Manipulator

H. ARAI, K. TANIE, N. SHIROMA (Univ. of Tsukuba)

Proceedings of 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'98) (1998-5), pp.2619 ~ 2626

重力の作用しない1軸の非駆動関節をもつマニピュレータの制御手法を提案する。能動関節軌道の時間軸を一定倍率で伸縮させた場合、軌道前後の非駆動関節の角度変化は伸縮率に関係なく一定で、軌道両端における角速度は伸縮率に比例する。初期位置と目標位置の双方向から数値計算された軌道を、時間軸伸縮により自由回転区間で接続し、位置決め軌道を計画する経路追従フィードバック制御を組み合わせ、実験により有効性を確認した。

### 332. Motion Planning for a 3-DOF Robot with a Passive Joint

K. M. LYNCH (Northwestern Univ.), N. SHIROMA (Univ. of Tsukuba), H. ARAI, K. TANIE

Proceedings of 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'98) (1998-5), pp.927 ~ 932

非駆動関節を有する水平3軸マニピュレータの位置決めにおける運動計画について論ずる。制御理論上、このロボットは任意の経路に沿って運動できるが、高

速の運動が可能な特定の経路を接続して障害物回避を実現する。この方法では探索空間の次元が低くなるために計算が簡単である。また、経路上の運動の時間軸を伸縮してマニピュレータ動特性を考慮したより高速の運動が計画できる。

333. 非駆動関節を有するマニピュレータの時間軸伸縮による制御

荒井 裕彦, 谷江 和雄, 城間 直司 (筑波大学)

日本ロボット学会誌 16-4 (1998-7), pp.561 ~ 568

重力の作用しない1軸の非駆動関節をもつマニピュレータの制御手法を提案する。能動関節軌道の時間軸を一定倍率で伸縮させた場合、軌道前後の非駆動関節の角度変化は伸縮率に関係なく一定で、軌道両端における角速度は伸縮率に比例する。初期位置と目標位置の双方向から数値計算された軌道を、時間軸伸縮により自由回転区間で接続し、位置決め軌道を計画する経路追従フィードバック制御を組み合わせ、実験により有効性を確認した。

334. Stable Recognition of Specular Objects by the Eigenwindow Method

K. OHBA, K. IKEUCHI (Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo)

Systems and Computers in Japan 29-7 (1998-7), pp.12 ~ 20

固有空間手法と局所ウィンドウを用いたEigenwindow手法を提案し、この手法を用いた金属物体の安定認識手法を提案した。また、複数の金属物体の種類と、位置を高速に認識する手法を提案し、検証を行った。

335. Generation Method of Evaluation for a Robot Considering Relations with Other Robots

K. OHKAWA (Tsukuba Univ.), T. SHIBATA, K. TANIE

Journal of Robotics and Mechatronics, 10-4, (1998-8), pp.284 ~ 288

人間が複数のロボットに何らかの指示を与えることによって、ロボットに協調行動を行わせる場合、誤った指令を与えるとすぐにロボットの協調関係が崩れる。そこで、本論文では、誤った指令が多少あっても協調関係を維持できるような複数ロボットの制御手法を提案した。また、その有効性をシミュレーションで検証した。

336. Nonholonomic Motion Planning for Coupled Planar Rigid Bodies

N. SHIROMA (Univ. of Tsukuba), H. ARAI, K. TANIE

Proceedings of 3rd International Conference

on Advanced Mechatronics (ICAM'98) (1998-8), pp.173 ~ 178

水平面内で複数の非駆動回転関節によって連結された直列リンク系を、一端の関節における並進加速度入力をを用いて2点間で位置決めする軌道を計画する。各リンクが撃心において連結されている場合、各リンクを撃心の周りに先端リンクから順次回転させる軌道と、全リンクが一直線上に並んだ場合の並進軌道を組み合わせ位置決め軌道が計画できる。2リンクの場合のシミュレーションにより計画軌道の妥当性を検証する。

337. Facial Expression Transportation with FES

K. OHBA, GUILLAUME CLARY (I.F.M.A.), T. TSUKADA (Tokyo Univ. of Technology), T. KOTOKU, K. TANIE

Proc. International Conference on Pattern Recognition (ICPR '98) 2 (1998-8), pp.1376 ~ 1378

本論文では、ノンバーバルコミュニケーション手法である表情ベースのコミュニケーションを実現するために、固有空間手法を用いた表情転送システムを構築し、表情ベースのコミュニケーションによる意図理解について議論した。

338. Method for Generating of Global Cooperation Based on Local Communication

K. OHKAWA (Tsukuba Univ.), T. SHIBATA, K. TANIE

Proc. of IEEE/RSJ Int'l Conf. on Intelligent Robots and Systems (1998-9), pp.108 ~ 113

非常に多くのロボットを協調させるためには、数台のロボットと通信する局所的通信が望ましいが、この場合、ロボットの群れ全体の整合性をとることが困難であった。そこで、本論文では、これらの問題を解決するための一手法を提案し、その有効性をシミュレーションで検証した。

339. 画像情報による人間の実時間行動判別法

平塚 誠良<sup>1</sup>, 大場 光太郎, 梶川 伸哉 (宮城高専), 猪岡 光<sup>1</sup> (東北大学)

日本機械学会論文集C編 64-625 (1998-9), pp.3518 ~ 3525

人間の行動を理解するために、非接触で人間の行動を判別する必要がある。そのためここでは、固有空間手法を用い、情報の多い画像データから、低次元の固有空間へ投影することにより、人間の行動判断を実時間で可能とし、その評価を行った。

340. Time-scaling Control of an Underactuated Manipulator

H. ARAI, K. TANIE, N. SHIROMA (Univ. of Tsukuba)

Journal of Robotic Systems 15-9(1998-9), pp.525 ~ 536

重力の作用しない1軸の非駆動関節をもつマニピュレータの制御手法を提案する。能動関節軌道の時間軸を一定倍率で伸縮させた場合、軌道前後の非駆動関節の角度変化は伸縮率に関係なく一定で、軌道両端における角速度は伸縮率に比例する。初期位置と目標位置の双方向から数値計算された軌道を、時間軸伸縮により自由回転区間で接続し、位置決め軌道を計画する経路追従フィードバック制御を組み合わせ、実験により有効性を確認した。

#### 341. Real-Time Classification on Human Motions

S. HIRATSUKA<sup>1</sup>, K. OHBA, S. KAJIKAWA (Miyagi National College of Technology), H. INOOKA<sup>1</sup>, K.TANIE (<sup>1</sup>Tohoku Univ.)

Prof. 7th IEEE International Workshop on Robot and Human Communication 2 (1998-9), pp.513 ~ 518

本論文では、固有空間手法を用いた人間の動作画像の低次元化と、その低次元空間での一連の曲線のマッチングを正確に行うために、スプライン近似を用いた手法を提案した。幾つかの動画画像を用いて、本手法の有効性を検証した。

#### 342. Emergence of Emotional Behavior through Physical Interaction between Human and Pet Robot

T. SHIBATA, T. TASHIMA (OMRON Corp.), K. TANIE

Proc. of the IARP First Int'l Workshop on Humanoid and Human Friendly Robotics, VI-4 (1998-10), pp.1 ~ 6

自動化や労働の補助を目的としたロボットは客観的尺度で評価され、主に産業応用のために研究開発されてきた。人と共存するロボットは、人とのインタラクションを通して、その人から主に主観的に評価される。本論文では、主観的評価を考慮した感情の人工生物の研究を紹介する。その例として、動物型の形態と、人との身体的インタラクションを重視したロボットについて述べた。

#### 343. Nonholonomic Control of a Three-DOF Planar Underactuated Manipulator

H. ARAI, K. TANIE, N. SHIROMA (Univ. of Tsukuba)

IEEE Transactions on Robotics and Automation 14-5 (1998-10), pp.681 ~ 695

第3関節が非駆動関節である3軸の平面マニピュレータについて、その非ホロノミック性を利用した制御手法を提案する。自由リンクの並進および回転運動を組合せて位置決め軌道を計画する。自由リンクを目標

軌道に追従させるため、リンク撃心の挙動を考慮して系を分割し、各部分系を非駆動関節の並進加速度入力によって安定化するフィードバック制御則を構築する。提案した制御則の有効性をシミュレーションおよび実験により示す。

#### 344. Facial Expression Space for Smooth Tele-Communications

K. OHBA, T. TSUKADA (Tokyo Univ. of Technology), T. KOTOKU, K. TANIE

Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System (1998-10), pp.378 ~ 383

本論文では、円滑なテレコミュニケーションを実現するために、画像から低次元化した表情空間に投影する手法を提案し、さらに、この手法を用いることにより、他の人物の表情と同期を取って表示することを可能とした。この表情を転送することにより、人間同士の遠隔コミュニケーションを円滑に行うことを可能とした。

#### 345. Coordinate Transformation Learning of Hand Position Feedback Controller by Using Change of Hand Position Error Norm

E. OYAMA, S. TACHI (Univ. of Tokyo)

Proc. of The 20th Annual Int. Conf. of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society 1998 20-5/6 (1998-10), pp.2358 ~ 2361

視覚によって与えられた目標点に手先を一致させるための各関節の角度を計算する問題は、逆運動学問題と呼ばれる逆問題の一種である。人間の神経系が、どのような機構により逆運動学問題の解法システムを形成しているかを解明することは、神経科学の重要な問題の一つである。逆運動学解法システムの学習について、幾つかの数理モデルが提案されているが、学習モデルの構造の複雑さや採用している仮説の自然さにおいて、未だ決定的なモデルは得られていない。人間の上肢逆運動学解法においては、フィードバック制御器の座標変換が中心的な役割を果たす。本論文では、フィードバック制御器の座標変換の学習モデルとして、関節角ベクトルの変化量とそれに対応する手先位置誤差ノルムの二乗の変化量の情報を利用した学習モデルを提案する。シミュレーションによって、その妥当性を確認する。

#### 346. Self-Generating Algorithm of Evaluation for Cooperative Behavior

K. OHKAWA (Tsukuba Univ.), T. SHIBATA, K. TANIE

Journal of Artificial Life and Robotics, 2-3

(1998-11), pp.138 ~ 143

ロボットに学習機能を搭載した場合、学習目標の与え方が重要となる。本論文では、操作者が与える単純な指令に基づいて、個々のロボットが学習目標となる評価を自己生成する手法を提案した。また、操作者が指令を変更することで、容易にロボットの学習目標を変更できることをシミュレーションで検証した。

#### 347. Stable Gesture Verification in Eigen Space

S. HIRATSUKA<sup>1</sup>, K. OHBA, S. KAJIKAWA (Miyagi National College of Technology), H. INOOKA<sup>1</sup>, K. TANIE (<sup>1</sup>Tohoku Univ.)

Proc. of IAPR Workshop on Machine Vision Applications (1998-11), pp.119 ~ 122

人間の行動、さらには情動を理解したヒューマンロボットインターフェースを実現するためには、厳密な人間のジェスチャーを認識する必要が問われている。そのためにここでは、固有空間手法を用いて単純な人間の行動を例に上げ、安定なジェスチャー認識をする手法を提案している。

#### 348. 生活支援機器としての階段昇降機の開発

橋野 賢

計測と制御 37-1 (1998-1), pp.55 ~ 58

生活支援機器の一つとして階段昇降機を取り上げ、現状技術の問題点、国際規格について概説した。現状技術を克服する機構としてクロール型移動機構をとりあげ、駆動ガイドの設計手法および同移動機構を用いた階段昇降機の特長を述べた。

#### 349. Development of crawl-type stairlift for half-turn staircase

S. HASHINO

proceedings of 1998 Japan-USA Symposium on Flexible Automation (1998-7), pp.23 ~ 26

前回の同シンポジウムではクロール型移動機構の直線階段対応と曲線階段対応に関して述べた。今回は、

それらを組み合わせ階段昇降機の最終の姿である折返し階段への適用に関して述べた。折返し階段に対応したクロール型階段昇降機の駆動ガイドの設計とでき上がった階段昇降機の特長に関して述べた。

#### 350. An Upper Limb Motion Assist System: Experiments with arm models

K. HONMA, S. HASHINO, T. ARAI (Osaka Univ.)

Proceedings of the 1998 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 2(1998-10), pp.758 ~ 763

安全性の高い福祉ロボットを実現するために、糸を用いた上肢動作補助機構の研究を行っている。機構の動作について実験的に検討するために、腕モデルを試作して位置決め動作実験を行い、位置決め誤差等の検討や、これまでにを行ったシミュレーションによる可動範囲の評価結果との比較を行った。

#### 351. クロール型階段昇降機の開発

橋野 賢

バイオメカニズム14 (1998-11), pp.237 ~ 247

機械技術研究所で開発を続けてきたクロール型階段昇降機についてまとめた。直線階段、螺旋階段、及びそれらを統合した折返し階段に適應したクロール型階段昇降機の設計に関して述べた。折返し階段対応版は大人一人を搭載でき、階段の内回り可能であることを実験的に示した。

#### 352. Human Support Technology Division

S. HASHINO, K. HONMA

Journal of Robotics and Mechatronics 10-6(1998-12), pp.542 ~ 543

福祉応用研究室の歴史と今年度の研究テーマについて紹介した。特に上肢動作支援システムとクロール型階段昇降機については写真を掲載した。

