

2009.12.16

BIWEEKLY

1057

NEDO 海外レポート

I. テーマ特集 MEMS・ロボット特集

- | | |
|---|----|
| 1. MEMS Executive Congress/北米 MEMS 調査報告
(NEDO 機械システム技術開発部) | 1 |
| 2. センサーネットワークを取り巻く状況(米国) | 9 |
| 3. 農業用ロボットについての世界の最新状況 | 12 |
| 4. 水中ロボットについての世界の最新状況 | 20 |
| 5. ロボットの安全性確保プロジェクト(欧州) (NEDO 成果報告書より) | 30 |
| 6. BMI(ブレイン・マシン・インターフェイス)技術について | 34 |

II. 個別特集

- | | |
|--|----|
| DOE「Save Energy Now State Partnerships」年次レポート(第 1 回) | 44 |
|--|----|

III. 一般記事

エネルギー

- | | |
|--------------------------------------|----|
| 米中・クリーンエネルギー共同声明 | 53 |
| 米エネルギー省、国立研究所に 1 億 400 万ドル以上の支援 | 56 |
| スマートグリッド実証・エネルギー貯蔵研究へ 6 億 2 千万ドル(米国) | 59 |

URL : <http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/>

《本誌の一層の充実のため、掲載ご希望のテーマ、ご意見、ご要望など下記宛お寄せ下さい。》

NEDO 総務企画部 E-mail : g-nkr@nedo.go.jp Tel.044-520-5150 Fax.044-520-5204

NEDO は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構の略称です。

【MEMS・ロボット特集】 MEMS

MEMS^{注1} Executive Congress/北米 MEMS 調査報告

NEDO 機械システム技術開発部
渡辺 秀明

1. はじめに

米国ペンシルバニア州ピッツバーグ市に本拠がある MEMS 産業グループ（MEMS Industry Group : MIG）が主催する年次会議（MEMS Executive Congress）へ参加し、北米を中心とする MEMS 産業動向を調査するとともに、その年次会議にあわせて、北米の主要 MEMS 関連研究機関を訪問し、研究開発動向を調査した。その結果概要を報告する。



MEMS Executive Congress 会場の The Lodge at Sonoma

（写真提供 （財）マイクロマシンセンター MEMS 協議会事務局次長 片白雅浩氏）

2. MEMS Executive Congress

2-1. 会議概要

米国 MEMS Industry Group（MIG）の主催で年に 1 回開催され、5 回目の今年はカリフォルニア州ソノマ市で 11 月 4-6 日の日程であった。MIG は 2001 年 1 月に設立された非営利組織であって、参加する企業、団体が、MEMS に関する技術や業界動向などの情報を共有し、MEMS 産業を強化・発展させることを目的としている。また年次会議では、会議名称のとおり MEMS 関連企業、団体の経営層が集まって、基調講演やパネルディス

^{注1} Micro Electro Mechanical Systems. 微小電気機械システム。

カッション、それらの合間のコーヒブレイク等の時間におけるインフォーマルな会話を通した情報交換、共有化、人的なネットワークを形成することによって MEMS 関連産業の事業拡大を図ることにある。

比較的中小規模の会社であれば CEO（最高経営責任者）が、大企業の場合は MEMS 事業部門のトップが参加し、技術より事業化をどう促進するかに絞った会議である。確認された参加団体は米国内の代表的 MEMS デバイス企業である Analog Devices、Freescale Semiconductor、Texas Instruments など、MEMS ユーザ企業と言える Boeing、Philips など、また MEMS 製造装置メーカーの Applied Materials、Tegal、アカデミアからは BSAC（UCB, Berkeley Sensor & Actuator Center）など川上から川下まで広範囲に存在し、さらには、ドイツの Bosch、Infineon、フランスの CEA-LETI（Laboratoire d'Electronique de Technologie de l'Information＝フランス原子力庁の電子情報技術研究所）、イタリアの STmicroelectronics、ベルギーの IMEC（Interuniversity Microelectronics Centre）、カナダ ACAMP（Alberta Centre for Advanced MNT Products）、オーストリア EVG、台湾 APM（Asia Pacific Microsystems）など、米国内に限らず、全世界の主要 MEMS デバイスベンダ、研究機関、装置メーカーのトップ層 160 名余りが一堂に会す国際的な会議であるが、日本企業の参加はオムロンのみであった。

2-2. 基調講演

最初の基調講演は、NTT ドコモ先進技術研究所アンテナ・デバイス研究グループ主幹研究員檜橋祥一博士の招待講演で、「Future Mobile Terminals and MEMS Technologies ~Multiband RF Front-End~」と題し、次世代移動通信（3G→4G）周波数帯域拡大における MEMS 技術への要望、ということで、特に電力増幅器やフィルタに関連した RF-MEMS スイッチへの期待を述べた。まず、2008 年のワールドワイドでの携帯端末台数は 12 億台とし、また NTT ドコモ加入者の 92%が第 3 世代の携帯電話に移行していると述べた。それに伴ってトータルデータ通信量は最近 5 年で 15 倍に増加し、大容量ネットワークの構築が不可欠との認識を示した。このような状況の中、携帯電話に関してさまざまな周波数帯に対応できる RF 回路（リコンフィギュラブル RF 回路）を構成することは、将来の移動通信サービス提供における技術的ターゲットであり、携帯端末用マルチバンド RF 回路について、MEMS 技術を応用したマルチバンド電力増幅器を紹介した。檜橋博士は MEMS タイプでこそ次世代移動通信の端末を実現できるとの強い期待を語ったが、いまだに実用に耐える RF-MEMS スイッチは出来ていない。動作電圧や耐久性、意外なところでは外形サイズなどの点で携帯端末適用には不十分であって、さらに最大の課題は低コスト化と述べた。

基調講演の二つめは、「バイオ MEMS の父」と呼ばれる米国テキサス大学ナノメディシン・バイオメディカル研究所教授のフェラーリ博士による、「Silicon as a Medical Material」（医療材料としてのシリコン）であった。フェラーリ博士は、薬物デリバリ、細胞移植、

体内埋込型バイオリアクターなどの革新的な治療法に関する数々のこれまでの研究成果を述べた後、ナノテクは医療における2つの大きな課題である早期発見と個人別治療の解決に大きな期待を担っていると強調した。またフェラーリ博士は、切除したガンの組織の再生や、心臓病、感染症に対応できる投薬の研究を推進中であり、開発中のナノポーラスシリカは、隠されたプロテオーム（hidden proteome＝タンパク質（プロテイン；Protein）の総体）を見つけ、非常に少量のタンパク質またはペプチドを検出できると述べた。また博士は、シリコンは生体内で分解されるし、また分解を制御することもできる医療用材料であるとコメントした。

2-3. パネルディスカッション

最初のパネルディスカッションは、バイオ・医療応用 MEMS に関するセッションであって、パネリストの一人に技術研究組合 BEANS 研究所副所長の安達淳治氏が登壇し、NEDO が実施している「異分野融合型次世代デバイス製造技術開発プロジェクト、通称 BEANS-PJ（BEANS ; Bio Electoro-mechanical Autonomous Nano Systems）」の概要、日本の現状、米国やヨーロッパとの違い、将来への期待など様々な視点から造詣深い意見を述べ、聴衆者から強い関心を集めていた。他のパネラーからは、MEMS デバイスはバイオ・医療応用として有効な技術であり、期待も大きい反面、開発コストと製造コストが高いのが課題であり、このため、マルチファンクションを有するワンチップデバイスを開発するモチベーションとなっているなどの意見があった。さらに MEMS センサのデータを医学的な情報に変換して提供することなどによって、市場拡大を図るべきとの意見が出された。最後のまとめとして、市場導入までの期間を短くすることが重要であり、そのためには開発の初期からすべてのステージで臨床医師など医学関係者との連携が必要である。これらのアプローチが FDA（Food and Drug Administration：米国食品医薬品局）の認可を早めるためにも重要であるとしてディスカッションを終えた。

次のエネルギー・環境センシング、Green MEMS のセッションでは、IMEC の Chris Van Hoof 博士らが登壇し、主としてエネルギーハーベスティング技術について討論した。この技術は、いまだに変換効率と供給できる電力量について課題が多いが、ワイヤレスセンサネットワーク構築には必須の技術であって、そのためには低コスト化も重要である。また、振動発電を中心に議論されていたが、他のアプローチ（熱電、光電）や蓄電技術も重要であり、振動発電を含め全ての技術が BEANS-PJ で目指している出口と一致していることに筆者は意を強くした。

3 番目のパネルディスカッションは自動車用 MEMS で、Bosch の MEMS 開発責任者の Gary O'Brien 氏らがパネリストであった。このセッションでは、①自動車における MEMS センサは、安全性確保、高効率化、排気ガスのクリーン化などにとって非常に重要な役割を持っている。②自動車用 MEMS は低コスト化、信頼性、耐久性、量産性などをすべて満足して初めて車に搭載されることから、あらゆる技術の応用が実現する場であり、ここ

からほかのアプリケーションにも技術が展開される③センサシステムにとって大切なのはインテリジェント化であり、複雑化ではないなどの意見が出された。また、昨今、電気自動車の開発が活発化しているが、電気自動車における磁場計測は重要な課題であり、これは MEMS 企業にとっては大きなビジネスチャンスでもあるとして、今後この分野での競争が激化することが予想される。

次世代コンシューマエレクトロニクスへの応用に関するパネルディスカッションでは、本市場における MEMS デバイスの普及のキーとなるのが「機能の見える化」であり、任天堂 Wii に搭載された加速度センサや、Apple の iPhone に搭載された傾きセンサは典型的な成功事例である。将来の MEMS センサ応用先は多岐にわたり、スポーツ・フィットネス市場や個人向けバイオ・メディカル市場が候補である。MEMS センサから得られるデータを活用するこれらの市場のポテンシャルは大きく、現時点でそれが何かは明示できないが、必ず出てくるという見解で一致した。逆に MEMS の高集積化については意見が分かれ、高集積 MEMS は絶対必要という意見もあれば、一方で事業としての実現性は低いと考える意見もあった。結局何が何でも集積化するのではなく、システム全体を俯瞰して余剰なものをなくし、最善の組み合わせをしたものが勝利を収めるのだろう。

パネルディスカッションの最後は、MEMS マーケット予測に関するものであった。Gartner、iSuppli、Yole などのマーケットリサーチ会社のアナリストが登壇し、いつ市況は回復するか、次のキラーアプリ^{注2}は何かなどの意見交換があった。まず彼らが予想する有望な分野は、RF-MEMS、Si-microphone、MOEMS、Microbolometer などであり、現在の市場規模は DMD^{注3}やインクジェットを除けば、MEMS 全体として大体 6,000-7,000 億円程度で、2009 年第 1 四半期で底を打っているとのことであった。また、今まで市場を牽引してきた加速度センサの市場規模はほぼ飽和しているとのことであった。

別の視点から、世界最大の半導体専門ファウンドリ^{注4}メーカーである台湾 TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company) が MEMS の市場規模は小さいにもかかわらず、MEMS をやっているか？という問いかけに対し、今後、TSV (Through-Silicon Via : シリコン貫通ビア配線) が広がり、半導体そのものへの応用が見込めるためとの見解が示された。また、よく言われることではあるが、パッケージからテストまでのコストが全体の 65-70% を占めるなどの MEMS 特有の課題や、MEMS でもウェハ口径の大口径化 (8 インチ化) が進行しており、そこまで投資できないメーカーは苦しいだろうとのことであった。したがって、設備投資が難しい企業においては、今後はパートナーシップの成否が鍵となるであろう。

注2 キラーアプリ(killer application) : あるサービスやハードウェアなどが広く普及する強いきっかけ・影響力となる、特別に人気の高いソフトウェアやコンテンツのこと。

注3 DMD: digital mirror device 正式には「デジタル・マイクロミラー・デバイス(digital micromirror device)」。

注4 ファウンドリ(foundry) : 半導体デバイス (チップ) の製造を委託で請け負う生産専門の企業のこと。ファウンドリサービスを行なう企業は発注元となる半導体メーカーからチップの設計図を受け取り、その設計に沿って半導体チップを製造する。

会議全体を通じてまとめると、MEMS 応用分野はかつては軍事用途や車載向けなどニッチ市場だったが、現在は携帯電話機など民生機器市場に広がっている中、複数のセンサをセンサネットワークとして応用し、事業化するアプローチが注目されている。センサネットワークは環境、エネルギー、バイオ、自動車など幅広い分野で期待されており、その実現には、自律的 (Autonomous) なセンサ同士の無線通信やデータ蓄積などが必要であり、これらの技術課題解決法は BEANS プロジェクトの研究開発目標に関連するものである。それゆえ、今後とも本プロジェクトの研究開発加速を図るとともに、実用化の際に重要となるこれらの応用展開に必要なソフトウェア開発にも目を向ける必要があろう。

3. カナダにおける MEMS、ナノ研究開発動向

・訪問日程：2009 年 11 月 2 日（月）

・訪問場所：カナダ国アルバータ州エドモントン市

ACAMP、Micralyne 社、カナダ国立ナノテクノロジー研究所(NINT National Institute for Nanotechnology)、アルバータ大学、カナダ連邦政府、アルバータ州政府関係者

・訪問結果

アルバータ州は石油（オイルサンド）と天然ガス、森林など豊かな自然資源に恵まれており、カナダの富のほとんどを生み出している地域である。そのためカナダの将来に備えて、次世代産業育成のため惜しまずに資金を投入している。特にアルバータ大学、NINT のファシリティは、産総研のスーパークリーンルームや東大の武田先端知を超える規模である。高々 300 万人の人口（アルバータ州）であるにもかかわらず、州都エドモントンにあるアルバータ大学には 4 万人、その南のカルガリー大学、レスブリッジ大学にはそれぞれ 3 万人、2 万人の学生がおり、世界中から人材が集まっている。事実、NINT に隣接するアルバータ大学には、アジア系の学生が多数見られ、そのほとんどが中国からの留学生とのことであった。また、カナダにおけるナノテクノロジーの研究開発活動は、アルバータ州の大学や国立研究所のみならず、他の地域でも連邦政府や州政府が強力に推進している。連邦政府レベルにおいて、国立研究機構の研究所でナノテクノロジーの研究開発が行われている一方、ブリティッシュ・コロンビア州、サスカチュワン州、オンタリオ州、ケベック州などにおいても研究拠点が形成されており、近い将来これらの州において産業化が期待されている。

ACAMP は Alberta Centre for Advanced MNT Products から名づけられ、カナダ政府出資の NPO 団体。ACAMP は単に産業化推進を支援する組織ではなく、会員中小企業の MEMS、ナノ応用製品のプロトタイプ開発から、パイロット生産に向けたプロセスレシピの開発までを企業と一緒に進める機能をもつ組織である。事業化コンサルタントとプロセス開発、デバイス評価などを実際に行っている。そのために 7 ヶ国 25 名のメンバーを集め、マーケティング、技術開発、プロセス開発、パッケージング開発や評価を行っている。現在は 100%の政府補助であるが、5 年計画で 1/3 を民間からの収入に切り替えるという意

欲的目標をたてて進めている。

NINT（後述）からスピンオフして設立された Micralyne 社は、世界最大の独立 MEMS 製造企業であり従業員数が 300 名規模にまで成長し、上記 ACAMP の主要パートナーである。他のファンドリの IMT（Innovative Micro Technology）、TSMC などとは戦略が全く異なり、基本として少量高付加価値製品のアプリケーションに特化して、大量生産には手を出さずに事業を行っている。製造ラインは 6 インチで、8 インチへの対応が必要な場合は提携先の SVTC（後述）で対応する。

NINT は 2006 年にカナダ政府と州政府が費用を折半（1 億 2,000 万カナダドル＝120 億円）して設立された研究所で、約 200 名の研究者がいる。研究所としての機能と、ベンチャ企業にオフィスとラボを提供し、知的財産管理等を通じて、育成するインキュベータの機能を持っている。研究所としては、主にデバイス、エネルギー、ライフサイエンス、情報通信技術、材料科学の分野に焦点を置き、ナノテクノロジーによる一分子レベルのセンシング、電子ビームリソグラフィ、ブロックコポリマの自己組織化を利用した機能材料などの研究をやっている。保有する設備については、ALD（Atomic Layer Deposition）装置を始めとする成膜装置から、ドライ、ウェットエッチング装置等一通り揃っている。インキュベータとしては 560 万ドルを投じ NINT イノベーションセンタを構築し、ベンチャ企業が新市場に進出できるよう支援する。センタは、新規企業や既存企業に対し、世界トップクラスの施設や最先端の研究所に近い賃貸スペースを提供することにより、商業化を促進し、さらにナノテクノロジーをベースとした企業の成長を奨励している。100m²程度の区画に事務所とラボを設け、開発に必要なファシリティをそろえ、企業に月額 15 万円程度で賃貸している。現在 20 社ほどの企業が入居している。

4. 米国における MEMS、ナノ研究開発動向

- ・訪問日程：2009 年 11 月 3 日（火）～11 月 4 日（水）
- ・訪問場所：米国カリフォルニア州バークレー、フリーモント、サンノゼ
BSAC、GE Sensing & Instrument Technologies 社、SVTC 社
- ・訪問結果

BSAC は米国 NSF(National Science Foundation :国立科学財団)が 1986 年に MEMS 分野の産学連携のために設立したセンターで、マイクロ・ナノスケールのセンサ、アクチュエータ、マイクロ流体、材料、プロセスの産業化を支援のための研究開発を行い、IC、バイオ産業の競争力を与えるという役割を担う。BSAC は米国連邦政府及びカリフォルニア州政府からの研究資金と 5 万ドルの年会費を払う会員企業からの年会費で運営されているが、この金融不況の影響で会員数は 15%ほど減って現在 39 社である。BSAC は米国最大の MEMS R&D 研究所であり、注力している研究分野、プロジェクト数は以下の通り。

- ・材料&プロセス 15
- ・バイオ MEMS 18

- ・マイクロ流体 8
- ・センサ&アクチュエータ 18
- ・マイクロパワー&エネルギー 10
- ・ナノフォトンクス&マイクロ光学&イメージング 20
- ・パッケージングプロセス&材料 14
- ・ワイヤレス&RF 部品 19

BSAC の新しいクリーンルーム (Nanofab) が BSAC の建屋の隣に竣工したので、見学した。1 万 5,000 平方フィート以上の面積の Class100 と Class1000 クリーンルームが、2 階に分かれている。このクリーンルームも素晴らしい規模のもので、100 人以上の主任研究者、500 人を越えるアカデミアと産業界の研究者が利用している。基本的には 8 インチのファブ (ファブリケーション: 半導体製造設備) だが、従来の 6 インチ装置も活用する。研究活動を阻害しないよう、これまでのファブの装置の移設は一つずつ実施するため、すべて完了するには 18 ヶ月かかるとのことであった。

次に米国産業界の情報を簡単に 2 件紹介する。

GE Sensing & Instrument Technologies 社は社名からも明らかのように、GE のセンサ部門が独立してできたものであるが、MEMS については、圧電抵抗^{注5}型センサで老舗の Nova センサを買収し、事業を行っている。したがって、MEMS デバイスそのものの開発・生産しているのは無論のこと、MEMS ファンドリ事業も行っている。従業員は約 200 名で、医療用、産業用 MEMS センサを主に製造している。クリーンルームは約 1,000m²で、それほど広くはないが、会社全体で数 10 万個/週のデバイス製造能力がある。ここ以外に生産拠点は韓国、英国にもあり、特に韓国が大量生産品に対応している。

SVTC は Cypress Semiconductor 社の開発/開発サービス拠点であった Silicon Valley Technology Center (SVTC) が分離・独立した企業で、シリコンベース技術の開発・商品化サービスの大手プロバイダである。台湾の大手半導体ファンドリ TSMC 社と新技術の商品化促進と、各種新興技術プラットフォーム関連製品開発推進のために、Innovation Incubation Alliance を設立し MEMS やバイオチップなど、新規デバイス開発のコラボレーションを行っている。この協業では、ムーアの法則に則って規模拡大する必要のない “More than Moore” などプロセス開発をするものである。さらに TSMC とはプロセスのロードマップを共有し、顧客が量産に移行する際のパートナーとして戦略的な連携関係を構築している。

また前述のとおり SVTC は Micralyne と業務提携をしており、パッケージングの技術、生産能力を活用し、顧客に提供するという双方向の関係を構築している。共同で開発した

^{注5} 外部から応力を加えたとき電気抵抗が変化する現象を「圧電抵抗効果(piezoresistance)」という。金属や半導体で見られる。

IP も含め、IP はすべて顧客が独占できる点、顧客が自らの装置を設置し、独占して活用できる点など、多くの特長を有している。最近は経営を安定化させるキラーアプリとして医療や防衛向けがあることを言っていたが、具体的な内容はシークレットであった。

短期間で、北米のごく一部の研究機関、MEMS 関連企業を見学したのみではあるが、全体的な感想としてここでまとめると、カナダ・米国とも、産学連携可能な仕組みを持ち、それがうまく機能しているように見えた。

【MEMS・ロボット特集】 センサーネットワーク

センサーネットワークを取り巻く状況（米国）

スマートグリッドおよびヘルスケアセンサー

センサーネットワークにおける MEMS^{注1}技術の用途は非常に広範囲に渡るが、NEDO 海外レポートでは本年 1 月、センサーネットワークについては 3 つの主要な用途、すなわちエネルギー管理、健康モニタリングおよび環境モニタリングが主要な利用例であることを紹介した^{注2}。これらは現時点および今後においても、なお最も重要な 3 つの利用例であると考えられる。実際、特に米国ではこの 3 つの用途はますます重要になっている。なぜならば、エネルギー、気候／環境、およびヘルスケアはオバマ政権の政治課題の中で優先順位の高いものであり、センサーネットワークと情報技術はこれらの課題での解決策を生み出すための重要な領域だからである。本稿ではこのうち米国のエネルギーと健康モニタリングに関するセンサーネットワークを取り巻く状況について報告する。

スマートグリッド推進に伴うセンサーネットワーク拡充のニーズ

最近発効した経済刺激パッケージの一部として、米国政府はスマートグリッドの実証プロジェクトのために 110 億ドルを用意し、またスマートグリッドに関する国立の情報交換所の創設を命じている。この資金提供による財政的インセンティブが無い場合でも、米国の各地の電力会社には、スマートグリッドシステムを確立すべき多くの動機がある。グリッド（送電網）を改良するための投資が遅れ、ネットワークの配置が貧弱で、メンテナンスが適切でないために、米国の送電網は障害を受けやすい（場合によっては大規模に）ものになっている。2000 年のカリフォルニアでの送電能力不足による周期的な停電や、2003 年の北東部での停電はその主要な例である。送電システム全体に抜本的な変革を起こすのに加えて、欠陥を見つけ出すことのできるスマートグリッドシステムは、迅速な修復、悪影響の限定、そしてグリッド全体の信頼性の増加を導くことが可能である。

さらに、米国の多くの州は温室効果ガスの排出をカットする政策を採用し、目標値（厳しいものもあるが）を設定している。電力会社がスマートグリッドシステムを採用することは、こうした州での温室効果ガス排出削減の取り組みにとって重要である。スマートグリッドシステムはピークロード（最大電力）の管理や、供給および需要サイドでの電力使用の最適化といった管理を可能にする。適切な条件を満たしたインフラと価格スキームによって、ユーザーは電力消費量を、特にピーク時に節約するというメリットを得ることができる。また電力会社は、突然の予期しない需要の増加に対応するために維持しておかねばならない予備発電能力を削減することができる。温室効果ガス（二酸化炭素）排

注1 Micro Electro Mechanical Systems. 微小電気機械システム。

注2 NEDO 海外レポート No.1037 「近年の MEMS 産業の動向（世界）」。

<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/1037/1037-02.pdf>

出削減という政府の規制が無い場合でも、スマートグリッドシステムを使ってピークロードを管理すれば、火力発電の容量をさらに増やすよりも費用がかからずに済む。

多くの州の二酸化炭素排出削減計画の中には、消費電力の一定割合を太陽エネルギーや風力エネルギーのような再生可能エネルギーからのものにするという義務づけが含まれている。実際、多くの州で、2020 年までにエネルギー消費量全体の 15% から 25%を再生可能エネルギー起源の電力にする必要がある。多くの電力会社が再生可能エネルギー発電の容量を増設したり、第三者から発電容量を購入する交渉を行っている。しかし彼らはまた、こうした間欠的な電源^{注3}からの取り入れを効果的かつ効率的に管理するためにスマートグリッドシステムを必要としている。

さらに、電気自動車が増加する可能性があると言うことは、運転者が車に充電することを可能にするインフラ（充電ステーション）が必要ということであり、充電ステーションにとっては、充電した量を計測するメーターが必要ということになる。スマートグリッドシステムはこのインフラの不可欠な要素となる。電気自動車が普及すれば、多くのドライバーが同時に（例えば仕事から帰宅した後の夜間に）彼らの車をコンセントにつないだ時に、エネルギー需要が急速に上昇する可能性も生ずる。こういうパターンを学習し分析することのできるスマートメーターシステムは、多くのプラグイン自動車に対して充電時間中に均等に充電するといった方法で車への充電を管理することができる。適切に実行すれば、電気自動車のバッテリーはまた蓄電デバイスになる。そして電力会社は、供給停止などの緊急事態にプラグイン電気自動車の中にあるこの電力のうちの一定部分を融通してもらうことも可能である。

政府からの奨励と財政的インセンティブを受けて、米国各地の電力会社はスマートグリッドというバンドワゴン（人気のあるもの）に飛びついている。2009 年春の時点で、地域あるいは州レベルの 23 の電力会社が 31 州および首都ワシントンで 5,100 万台近くのスマートメーター（この中には双方向デバイスもある）を展開中である。近い将来、連邦政府および州政府の資金が入手できるようになれば、この数字はさらに増えるに違いない。Pacific Gas & Electric 社（PG&E：カリフォルニア州、サンフランシスコ）はスマートグリッドシステムを採用した最初の電力会社となった。2009 年 3 月、PG&E は、既存および将来のスマートメーターへの双方向コミュニケーション機能を提供するベンダー（納入業者）として、Silver Spring Networks 社（カリフォルニア州、レッドウッドシティ）を選んだと発表した。同社はこれに先立って、22 億ドルを使って 2011 年までに 500 万のスマートメーターを設置すると発表していた。そのうち 4 億 6,700 万ドルは加入者（顧客）負担によるもので、州政府が 2009 年初めにこの目的のために料金値上げを認可した分であった。PG&E は 230 万台のスマートメーターを配備しており、さらに 1 日 6,000 台ずつ

注3 風力発電や太陽光発電では自然条件により出力が大きく変化する。

増加させている。

スマートグリッドシステムは既に活気のあるものになっている。景気が下降局面であるにもかかわらず、産業界の観測筋は、スマートグリッドシステムの成長については総じて楽観的である。アナリスト達は、スマートグリッドは 2009 年においてもっとも成長率の高い技術分野になり、250 億ドルを超す収入を生み出すと予測した。既に 2008 年の後半には、スマートグリッド技術の接続業者の設置予約が数ヵ月間 50%の増加を記録していたが、このトレンドはそのまま続くという予測である。関係者は米国政府が創設した 110 億ドルの資金からも利益を得ており、この力強い成長は今後 2~4 年は続くであろう。

ヘルスケア分野のセンサー

センサーに基づいた健康モニターの分野では、2009 年においては技術的あるいはビジネス的にめざましい進展は見られない。電子的な患者の記録についても業界横断的な標準規格も存在していない。同様にワイアレスセンサーについてのコミュニケーション規格もない。この業界は未だ統一されておらず、様々な会社やヘルスケア提供者がしばしば断片的に解決策を採用している。同じ病院の中でさえデータの相互運用性が確立されておらず、ましてやヘルスケア提供者に横断的なデータは当てにできない。しかし、バラバラで体系的な動きが欠如しているにもかかわらず、様々なアナリストが、センサーに基づいたネットワークによる患者モニター設備とデバイスの市場は向こう 3~5 年でおおよそ 40 億ドルにまで成長すると予測している。ワイアレスセンサーは市場全体の 1/4~1/3 を占めるであろう。

オバマ政権が、ヘルスケア改革を強力に推進し、また技術的な解決策を重要視していることから考えれば、基準の設定に政府が介入してくることが予想される。ヘルスケア改革は政治的に激論を引き起こしている問題ではあるが、コストを下げる技術を使用することや電子的な患者の記録についての何らかの基準を設定することは、関係者が同意済みの事項である。また、この分野での技術開発や雇用の創出のために政府が刺激策を取って資金を出動することも予想される。例えば、連邦通信協会(U.S. Federal Communications Commission)は、低出力で短い範囲の患者モニタリング用ワイアレスセンサーや設備の通信のために、ベンダー中立の（特定の業者に依存しない）専用電波スペクトルを割り当てるためのルールを作ることを提案した。この提案は、おそらく米国政府が 2010 年には提案すると予想される、より積極的な基準制定活動を先取りしたものであり、今後のウォッチが必要である。

編集・翻訳：NEDO（担当 総務企画部 清水太郎）

出典：Strategic Business Insights Explorer Program

【MEMS・ロボット特集】 農業用ロボット

農業用ロボットについての世界の最新状況

はじめに

ロボットや自律型システムの農業への応用は、かなり以前から行われている。実際、多数の先進国では「**ロボット農場**」はすでにある程度現実のものになっているといえよう。酪農用への応用としての**ロボット搾乳システム**は、以前から広範に利用されている。国際ロボット連盟（International Federation of Robotics: IFR）の年次報告書 World Robotics 2008 によれば、世界中で約 1 万の搾乳システムが使用されているとのことである。（文献 1）また、いくつかの農業用重機のメーカーは、半自動コンバイン収穫機および類似の農作業用車両を開発した。他の企業は（一部の個人農場経営者も）遠隔無人航空機（unmanned aerial vehicles: UAV）を開発し、観察、計画および農薬散布といった多数の作物関連の用途に使用している。

こうしたロボットの開発は日本、米国、欧州で進行中であり、特に日本では、民生用（非軍事用）ヘリコプターを使用した農薬散布、稲作、雑草除去および果物の摘果といった先進事例がある（文献 2）。

IFR は、農業用ロボットをより広範なカテゴリーである**野外ロボット**の中に分類している（本稿では、農業用ロボットに調査を限定）。IFR によれば、「**広域（大面積）用途**（種まき、雑草除去、農薬散布および広域収穫）、**造林**（樹木の苗床生産）および**園芸**（フルーツや野菜の摘果）の分野で、多数の農業用ロボットの開発が報告されている。しかし、ほとんどの用途が先進的センサーデータ処理に依存しているため、サービスロボットは商業ベースでの幅広い使用には至っていない。先進的センサーデータ処理の信頼性が要求されるレベルに達するには、未だ乗り越えるべき問題が残っているからである。オートメーション化した機械の機能性、構造安定性、および費用対効果を調査する集中的な研究が進行中である。摘果ロボットは、現在約 10 カ国で開発中である。これらのロボットの目的は、主としてビデオ画像の色調または輪郭分析を用いて、熟した果実を探知して示すことである。また、しなびた葉を取り除くなどして、植物を維持するよう設計されたロボットもある。」（文献 1）

米国では、農業用ロボットおよび自律型農場システム開発の代名詞ともいえる企業は **John Deere 社**（Deere & Company、イリノイ州モリーン）である。たとえば、同社は **iRobot 社**（マサチューセッツ州バーリントン）および **カーネギーメロン大学**（CMU、ペンシルバニア州ピッツバーグ）のロボット研究所とパートナーを組み、**R-Gator 無人地上車両**（unmanned ground vehicle: UGV）を開発した。Deere 社は、**農業用車両のための各種自動誘導システム**を製造している。（文献 3 および 4）

CMU はまた、農場向けの技術を広範に、かつ積極的に開発している。CMU 国立ロボット工学センター (National Robotics Engineering Center: NREC)^{注1}は、**未来型農場**用の各種ロボットを研究している。図 1 に示すように、目標とする用途には一般的に**種まき、収穫、草刈り、農薬散布、燃料補給、穀物/農産物の収穫、農場の監視**が含まれる(文献 5)。特殊なプロジェクトには、US Sugar 社 (フロリダ州クレウィストン) 向けの**サトウキビ自動植え付け機**の開発が含まれる。

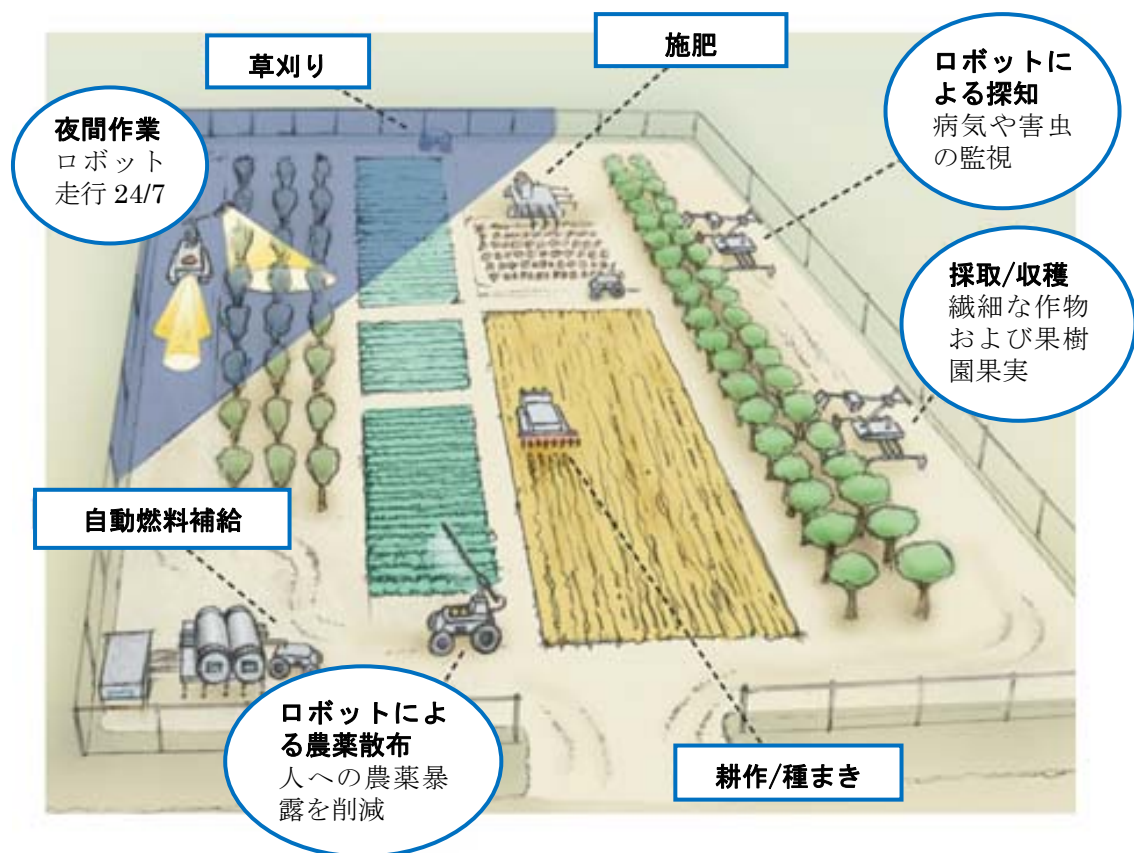


図 1 NREC の「未来農場」

出典：NREC (文献 5)

欧州では、いくつかの企業が農業用途、特に搾乳ロボットの商業ロボットシステムを開発した。こうした企業の中で恐らく最も名の知れた企業は、**Lely 社**^{注2} (オランダ、マーススライス) で、搾乳用途を超えた製品を製造している。同社は、農場向けの**自動フェンス設置システム**を開発し、**畜舎掃除ロボット**を販売している。IFR によれば、「ソーラーパ

^{注1} <http://www.rec.ri.cmu.edu/projects/ag/index.htm>

^{注2} www.lely.com

ソーラー（太陽電池）で動く **Lely Voyager** 自動放牧システム^{注3}は1日かけて細かく切った新鮮な飼料を蒔く。一対の可動式プラットフォームは Bluetooth 通信により連動している。**Lely Discovery** 可動式畜舎掃除機は、畜舎の衛生状態を改善するための柔軟性に富む解決策を提供する。可動式ロボットは、作用領域を最大化するようにプログラムできる。」（文献1）同社のロボットシステムを図2に示す。



図2 Lely社の農業用ロボット

出典：Lely; IFR（文献1）

これに加え、多数の重要な研究イニシアティブが世界中で進行中である。たとえば、**欧州技術プラットフォーム**（European Technology Platform: ETP）には農業に焦点を当てた研究領域が含まれる。（文献1）

その他の研究

農業ロボットの分野で進行中の他の活動を確かめるために、二次研究ツールを用いて各種検索を行った。これは、海外（日本以外）の研究グループおよび技術開発会社を対象とした、最近の知的財産、研究論文、および無料で入手できる企業情報の分野での R&D（研究開発）および商業化活動に関するものである。結果は、以下の通り。

① **Explorer and Scan**：ストラテジック・ビジネス・インサイト（SBI）社のエクスプロ

^{注3} 2台のロボットが Bluetooth を通じて連携し、電牧線を使って放牧している牛たちを自動的にガイドするロボットシステム（牧羊犬ロボットシステム）。専用コントローラに、1日のエサ（牧草）の量を入力すると、ロボットが牛たちの前に電牧線を張り、牛たちがちょうど良いペースでエサを食べられるように速度を調整しながら自動的に移動する。（参照：「オランダで牧羊犬ロボット「Voyager」が登場・Bluetooth を通じて2台が連携」、マイコミジャーナル、2007年6月5日、
（<http://journal.mycom.co.jp/news/2007/06/05/007/index.html>））

Bluetooth（ブルートゥース）は短距離無線通信技術の一つで、数メートル程度の機器間接続に用いられ、ケーブルを使わずに接続し、音声やデータをやりとりすることができる。（参照：IT用語辞典、
（<http://e-words.jp/w/E38396E383ABE383BCE38388E382A5E383BCE382B9.html>））

ーラー・アンド・スキャンプログラム^{注4}を使用した情報の要約で、これが出発点となる。

②**研究論文検索**：Google Scholar を用いた過去 5 年分の研究論文および特許の検索

③**特許活動検索**：esp@cenet を用いた過去 5 年分の特許の検索

Explorer and Scan プログラム

SBI 社の Explorer 研究プログラムには、農業用ロボットを含む各種用途向けのロボット開発に関するものが含まれている。

・米国で農業用ロボットの需要が増加

2008 年に Explorer は、**米国政府による国境警備の強化**により移民労働力の供給の制限が見込まれることから、**農業用ロボットが必要になる**と確信している米国の企業があると報告した（**文献 6**）。2007 年にカリフォルニア州 Farm Bureau^{注5}は、以下のような推定を発表した—①カリフォルニア州は米国が供給する果実、野菜、ナッツのほぼ半分を生産している、②この豊富な農産物を収穫するためには、夏の間に 45 万人の労働力が必要である（他の季節には、この半分の労働力が必要）。この仕事を成し遂げるのに、現在は安い労働力にかなり依存している。2007 年 9 月 6 日の AP の記事によれば、米国労働省は全農場労働者の半分以上が不法移民であると推定しているとのことである。この 1 年程度、カリフォルニア州の農民は労働力不足の打撃を受け、果実を畑に放置して（収穫できずに）腐らせるという事態を招いた。こうした要因により、農業用ロボットの開発に拍車がかかっている。たとえば、**Vision Robotics** 社^{注6}（カリフォルニア州サンディエゴ）は、カリフォルニア柑橘類研究委員会（California Citrus



図 3 Vision 社の果実収穫システム構想

出典：Vision robotics（**文献 7**）

^{注4} 非公開（有料）データベース

^{注5} カリフォルニア州で最大の NGO、NPO の農業生産者団体。53 の郡レベルの支部から構成される（<http://www.cfbf.com/>）。

^{注6} www.visionrobotics.com/

Research Board) およびワシントン州リンゴ委員会 (Washington State Apple Commission) 向けに農業用ロボットを開発している (文献 6)。同社のロボットシステムは、果樹園あるいはブドウ畑を細かく調べ、当該領域内の果実の位置や熟度を示す三次元マップを作成する。さらに、カリフォルニア州立大学フレズノ校の研究者たちは、**果実の化学成分**を測定できるシステムを開発中である。これにより、収穫に最も適した熟度で果実を収穫できるようになる (文献 6)。Vision Robotics 社はまた、**図 3** に示すような収穫システムを開発中である (文献 7)。

・ **果実および繊細な生産物の収穫**

オートメーション化したシステムは、すでに低品質な果実や野菜の収穫に利用されている。しかし、**最高級品の農産物**に損傷を与えることなく**収穫**できるロボットはまだ開発されていない (文献 6)。たとえば、果実は傷みやすいため、ロボットメーカーはそうした損傷を防ぐ特殊な作業用マシンを開発する必要がある。とはいえ、いくつかの解決策が存在する。2002 年に Explorer は、発明家の Colm McKeown (アイルランド、ベルファースト) が、**マッシュルーム**を選別して損傷を与えることなく**収穫**するロボット装置を開発して受賞したと報告した (文献 8)。その後、彼は 2005 年にその装置の特許を取得した (文献 9)。

文献検索

様々な研究機関が 2009 年に発表した論文の中から**代表的なもの**を表 1 に示す。

表 1 農業用ロボットおよびオートメーション化に関する研究論文

研究機関	タイトル
ワーゲニンゲン大学 (オランダ)	「ロボットによる雑草除去のための自律型プラットフォームの体系的設計」(文献 10) 「キュウリ収穫ロボットのための最適な作業用マシンの設計」(文献 11)
セマグレフ大学 (フランス)	「畑での正確な操作のための四輪操舵可動式ロボットの自動誘導」(文献 12)
アイオワ州立大学 (米国)	「リアルタイムの立体映像を用いたトウモロコシ植え付けセンシング」(文献 13)
浙江工業大学 (中国、杭州)	「サイクロイド運動に基づくキュウリ収穫ロボット作業用マシンの端末スライディングモード制御を伴う軌道追跡」(文献 14)
江蘇大学食料生物工学部 (中国、鎮江)	「柑橘類採取ロボットのためのリアルタイムの走行コース計画」(文献 15)
ホーエンハイム大学 農業工学研究所 (ドイツ)	「バイオマス処理ロボットのコンピュータ支援を伴う戦略的最適化」(文献 16)

研究機関	タイトル
ツ、シュトゥッツガルト)	
寧波工程院 (中国、寧波)	「シングルマスト枠組構造を伴うヤマモモ収穫用作業マシンの設計」(文献 17)
南京工程院 (中国、南京)	「知能的綿採取用ロボットのための単独作業用マシンのモデリングとシミュレーション」(文献 18)
ライプニッツ大学 ハノーファー、生物生産システム、バイオシステム、園芸工学研究所 (ドイツ、ハノーファー)	「切り花の小花柄の探知および三次元モデリングに基づくロボットによるガーベラの収穫」(文献 19)

結論

上記の情報は一般的に、企業および研究機関の研究者たちが以下の開発を進めていることを示唆している。

①既存の商品

農業におけるロボットの使用はすでに始まっている。搾乳ロボット、草刈りロボット、UAV（遠隔無人航空機）などを含む**多数のシステムを商業化した大企業**もある。

②次世代製品

大企業は、既存の農業用車両の**自律型バージョン**や洗練された農業自動化システムを開発中である。農業関連企業の他に、周辺産業（たとえば、食品加工）の企業も、農業ロボットに有用な実現技術を開発する可能性がある。

③研究開発の目標

企業および研究機関の多数の研究者たちは、**農業を全自動化**することが論理上の最終目標になると想定しており、さまざまな農産物や農場生産物（果実、野菜、花、トウモロコシ、綿、バイオマス、樹木など）の**雑草の除去、採取、収穫、処理**などの農業用途に使用することが目的である。

④研究開発のトピックス

世界中の研究者たちは、以下に示す有用な農業用ロボットのために解決すべき多数の技術的難問に取り組んでいる。

- ・ **多目的ロボットプラットフォームの開発**
- ・ 繊細な農作物（イチゴ、キュウリ、アスパラガス、マッシュルームなど）の**取り扱い**

い

- ・機械映像による、様々な植物種や農産物の種類**認識**。種類だけでなく熟度も。
- ・様々な難しい地形での農業用ロボットの**航法**
- ・特殊な農産物という点での、**キュウリ**への高い注目度

⑤地域

日本での農業用ロボットの取り組みに加え、**中国**、**米国**、欧州の数ヵ国（とりわけ**ドイツ**および**オランダ**）の研究者たちは、特に積極的に農業用ロボットを開発している。

⑥中国の研究機関は、様々な実現技術を開発するだけでなく、膨大な量の農業用ロボット技術の特許を取得している。

⑦**米国では**、John Deere 社などの大企業だけでなく、Vision Robotics 社のような中小企業も**研究**に携わっている。大学から新たな農業用ロボットメーカーがスピンアウト（独立）する可能性もある（たとえば CMU やアイオワ州立大学）。

文献

1. “World Robotics 2008”, IFR Statistical Department report, 2008
2. SBI Explorer July 2008 Robotics Viewpoints
(<http://www.strategicbusinessinsights.com/explorer/ROBO/ROBO-2008-07.shtml>)
3. “JOHN DEERE INTRODUCES NEW ROBOTIC R-GATOR™ BASED ON MILITARY INPUT”, John Deere news release, 16 October 2009
(http://www.deere.com/en_US/newsroom/2009/releases/commercial/10162009_rgator.html#)
4. “JOHN DEERE ADDS TWO NEW AUTOTRAC™ GUIDANCE PRODUCTS TO PORTFOLIO”, John Deere news release, 20 August 2009
(http://www.deere.com/en_US/newsroom/2009/releases/agricultural/augustrelease/20aug_43134.html)
5. NREC document, “Farm of the Future” (available for download at <http://www.rec.ri.cmu.edu/markets/farm.pdf>)
6. SBI Explorer October 2007 Robotics Viewpoints,
(<http://www.strategicbusinessinsights.com/Explorer/ROBO/ROBO-2007-10.shtml>)
7. Vision Robotics Web site
(http://visionrobotics.com/vrc/index.php?option=com_zoom&Itemid=26&catid=2)
8. SBI Explorer October 2002 Robotics Viewpoints
(<http://www.strategicbusinessinsights.com/Explorer/ROBO/ROBO.2002-10.shtml>)
9. United States Patent Application 20050268587, “Robotic harvesting system”

10. Bakker et al, Journal of Terramechanics, article in press,
(<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022489809000858>)
11. EJ Van Henten et al, Computers and Electronics in Agriculture, Volume 65, Issue 2,
March 2009, Pages 247-257
(<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169908002238>)
12. Cariou et al, Journal of Field Robotics, Volume 26 Issue 6-7, Pages 504 – 518, 2 Apr
2009 [Special Issue: Agricultural Robotics]
(<http://www3.interscience.wiley.com/journal/122371727/issue>)
13. Jian Jin, Lie Tang, Journal of Field Robotics, Volume 26 Issue 6-7, Pages 591– 608,
2 Apr 2009 [Special Issue: Agricultural Robotics]
(<http://www3.interscience.wiley.com/journal/122371727/issue>)
14. Yang, Q. et al, Transactions of the Chinese Society of Agricultural
Engineering/Nongye Gongcheng Xuebao. Vol. 25, no. 5, pp. 94-99. 2009
15. Cai et al, Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering/Nongye
Gongcheng Xuebao. Vol. 25, no. 6, pp. 158-162. 2009
16. Starcevic et al, Biosystems Engineering, Article in Press, 2009, (see
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1537511009002694>)
17. Intelligent Computation Technology and Automation, 2009. ICICTA '09. Second
International Conference on Publication Date: 10-11 Oct. 2009 Volume: 3, On
page (s) : 323-325
(http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=5287969)
18. W Mulan, Y Mei, W Jieding, F Shumin, Journal of Agricultural Mechanization
Research, 2009
(http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-NJYJ200905014.htm)
19. Patent CN101323328 (2008)

翻訳 : NEDO (担当 総務企画部 吉野 晴美)

出典 : Strategic Business Insights Explorer Program

【MEMS・ロボット特集】 自律型無人潜水機 遠隔作業機 水産養殖用ロボット

水中ロボットについての世界の最新状況

はじめに

多数の水中ロボット、自律型無人潜水機（autonomous underwater vehicles: AUV）および（これより簡素な）遠隔作業機（remotely operated vehicles: ROV）が、世界中ですでに広範な用途（探査から保守まで）に利用されている。国際ロボット連盟（International Federation of Robotics: IFR）によれば、2008 年末時点で、これらは世界中で約 6,000 の水中システムにおいて使用されているとのことである。同連盟は、数種の AUV に関して以下のように記述している。「浅水域の AUV は、パイプライン中の液体の流れや水質の監視といった任務を遂行している。（中略）より強固な作業用ロボットは、数千メートルの深さ（水深 4,500 メートルまで）まで潜ることができる。従って、これらのロボットは探査ロボットに比べてずっと重く（最大 5 トン）、大きく（295/183/200cm）なければならない。水中パイプラインや石油プラットフォームの建設に使用される場合には、操作アーム、照明、カメラ、誘導システムの操作性が非常に重要である。このような水深では、人間による代替や支援ができないからである。別の種類としては、沖合での埋設システムがある。これは、ケーブルやチューブなどを地盤に埋め込むために海底で作業するものである。（文献 1）」AUV の主要メーカーは、以下の通り（文献 1）。

- ・ Bluefin (米国)
- ・ Cybernétix (フランス)
- ・ Deep Ocean (米国)
- ・ ECA HYTEC (フランス)
- ・ Hydroid (米国)
- ・ Hydrovision (英国)
- ・ Inuktun Services (カナダ)
- ・ ISE (カナダ)
- ・ Kongsberg Simrad (カナダ)
- ・ MacArtney (デンマーク)
- ・ Maridan (デンマーク)
- ・ Neuro Robotics (英国)
- ・ Oceaneering (米国)
- ・ Perrone Robotics (スウェーデン)
- ・ Schilling Robotics (米国)
- ・ Sias Pattersson (米国)
- ・ Perry Slingsby (英国).

水産養殖（以下、養殖）ロボットとは、高度に特異な水中用途（特に水中養殖）に用い

られるロボットのことである。上記の AUV や関連する水中技術への取り組みに比べて、養殖ロボットへの取り組みはかなり初期段階にある。陸上養魚場に使用するロボットを開発している研究者もいれば（下記参照）、海面養殖用途に使用するロボットを開発している研究者もいる。

調査方法

ブレイン・マシン・インターフェース（Brain Machine Interface：BMI）の領域で進行中の事柄を確認するために、二次研究ツールを利用して各種検索を行った。さらに、最近の知的財産、研究論文および無料で入手可能な企業の情報を対象に、海外（日本以外）の研究グループや技術開発会社等の最近の活動に焦点を当てて、R&D および商業化の活動を検索した。具体的には以下の通りである。

- ① **Explorer and Scan**：ストラテジック・ビジネス・インサイト（SBI）社のエクスプローラー・アンド・スキャンプログラム^{注1}を使用した情報の要約で、これが出発点となる。
- ② **研究論文検索**：Google Scholar を用いた過去 10 年分の研究論文および特許の検索
- ③ **特許活動検索**：esp@cenet を用いた過去 10 年分の特許の検索
- ④ **ウェブ検索**：BMI の R&D および商業化について論じた最近の論文を対象とした、Google.com を用いた先進的ウェブ検索

研究論文検索

Google Scholar を用いて、検索用語関連語句をタイトルおよび要約に含む、過去 10 年に発表された研究論文を検索した。検索した語句とそのヒット数は以下の通りである。

- ① aquacult* と robot*：ヒット数 17
- ② “fish farm” と robot*：ヒット数 98
- ③ aquacultur* と "autonomous underwater"：ヒット数 100
- ④ "remotely operated vehicle" と aquacultur* の AND 検索：ヒット数 123

これに加え、Aquacultural Engineering 誌で 12 件ヒットした。表 1 に、1999 年以降に様々な研究機関から発表された代表的な論文のタイトルと要約を示す。

表 1 養殖ロボットおよび自動化に関する研究論文

大学/研究機関	タイトル	要約の抜粋
セビリア大学 (スペイン)	「養魚場おけるコンピュータ画像とロボット技術」(文献 2)	「この論文は、養魚場の操業を自動化するための新たな低価格システムを示す。特に、魚に接触せずに重量を推計するのにコンピュータ画像

注1 非公開（有料）データベース

大学/研究機関	タイトル	要約の抜粋
		が用いられる。同期コンバージェントカメラを用いた立体画像システムを駆使して、水槽や海面生簀（いけす）にいる魚の三次元区分化を行う。」（文献2）
トウungk・アブドゥル・ラーマン 大学 (UTAR)、クアラランプール (マレーシア)	「熱帯魚養魚場向け侵入者自動探知に関するフィージビリティ・スタディ」(文献3)	「海面生簀養魚場のための侵入者自動探知システムが導入される。生簀網またはその近辺への潜在的な捕食者または窃盗目的の侵入を探知するために、光学画像法が用いられる。給餌ネットを取り囲むように設置された数十のカメラを用いて侵入事件を操業者に正確に警告するために、高速（ハイスピード）規則に基づくアルゴリズムを試験して、当該養魚場の海面生簀の網の中に不法侵入する可能性のある相手を特定する。」（文献3）
ノルウェー科学技術大学（人工知能工学および海洋技術学部；ノルウェー）	「固定（係留）する相互接続構造の構造成信信頼性に基づく制御」(文献4)	「この論文では、未来型養魚場構築物のモデルが開発され、相互接続された海洋構築物に関連する問題と形状制御のための戦略が研究される。」（文献4）
ローマ大学（養殖および実験生態学研究所；イタリア）	「水中二本撮りカメラを使用した魚の大きさの推定」(文献5)	「魚のひれの成長率と魚態変化を監視するリモートシステムの定義を明確にすることで、適切な光学領域と自動データ収集システムを開発する。（中略）同システムは、リモートと自動データ収集装置を連続的に利用できる道具で、従来の視覚による全数調査の技術をサポートする。自然集団の応用研究により、魚群と個体動物学の特性解析に有用である。」（文献5）
農業研究機構国立農業研究所ボルカニセンター（イスラエル）	「コンピュータ画像を用いたグッピー (Poecilia reticulata) の性別による選別」(文献6)	「グッピーの飼育者およびブリーダーの人件費は、主として人手を使った選別（魚の損傷、品質、性別）と魚数計測に係る費用である。（中略）観賞魚飼育者のための選別技術および計測技術の開発を目的としたプロジェクトには、グッピー (Poecilia reticulata) を性別で分けるための画像処理アルゴリズムの開発と試験が含まれる。アルゴリズムは、メスとオスの形や色の違いを抽出したものである。」（文献6）

大学/研究機関	タイトル	要約の抜粋
フェルバ大学 (スペイン)	「SEDPA (ウナギ飼育システムにおける病気診断専門システム)」(文献 7)	「ウナギの病変の診断を可能にする双方向専門システム (SEDPA) の試作品の設計、開発、試験について述べられる。主として推定エンジンについてのみ述べられるが、同システムは複数のサブプログラムモジュール設計を統合するものである。」(文献 7)
メリーランド大学北東地域養殖センター (米国)	「牡蠣の自動殻剥きの必要性に関する研究」(文献 8)	「牡蠣の殻剥きは 100 年以上に渡り研究開発の焦点であったが、今日に至っても、商業的に利用可能な低コストの自動殻剥き機は存在しない。(中略) 研究の必要性が述べられ、牡蠣の殻剥きの自動化と牡蠣の環境への適応に関するさらなる研究を促すためのアイデアが提供される。」(文献 8)
カタルーニャ工科大学 (スペイン)	「デジタル画像分析によるカレイの行動計測」(文献 9)	「カレイの動きの評価は、魚の動きと繁殖を研究する上で有用なツールとなり得る。この研究の目的は、画像分析を用いてカレイの動きを計測するための数量的な指標を得ることである。カレイが夜行性であることを考慮し、3 晩に渡りカレイ群の自発運動量をデジタルビデオで記録した。」(文献 9)
海洋研究ヘレンックセンター (ギリシャ)	「養魚場の生簀近辺に集まる野生魚類の遠隔作業機(ROV)による多様性調査」(文献 10)	「野生の魚類による有機沈殿物を利用することから、養殖の地中海 (特に養殖生簀の下部にある海底) に対する影響は、サケ養殖の大西洋に与える影響より小さいという仮説への関心が、近年高まっている。この仮説を検証するために、エーゲ海にある多数の異なる養殖場で遠隔作業機(remotely operated vehicle: ROV)を用いて水中調査を実施した。」(文献 10)
KAIST (韓国科学技術院; 韓国)	「生簀養殖のための自律型無人潜水機的设计」(文献 11)	「養殖システムは、高生産率を保ちつつも重要な環境要因を維持するために、人工的な監視と機能の制御が必要である。この論文は、各種センサー、通信機器、航行情報を搭載した自律型無人潜水機 (autonomous underwater vehicles: AUV) が、生簀を用いた養殖システム環境の効率的かつ広範な監視任務を実施できることを示している。」(文献 11)

大学/研究機関	タイトル	要約の抜粋
国立海洋大気庁 (NOAA) (米国); Nekton Research, LLC	「浅水域における監視ツールとしての自律型無人潜水機の試験」(文献 12)	「植物性プランクトン細胞を集める海洋特性を 探知するための微小自律型無人潜水機 (autonomous underwater vehicles: AUV) の有用性 を、干満のある浅い入り江で評価した。(中略) 各 AUV は、深度、伝導性および水温を測定する ために CTD センサーを搭載された。(中略) 微 小 AUV の用途には、養殖池の監視が含まれる。」 (文献 12)

出典：Strategic Business Insights (SBI)

特許活動

養殖ロボットに関連する特許活動により、技術の進化に関する相当量の情報が明らかになった。esp@cenet を利用して、タイトルおよび要約に検索用語関連用語を含む特許について過去 10 年分の検索を行った。検索した用語とそのヒット数は以下の通りである。

- ・ aquacultur* と robot* の AND 検索: ヒット数 0
- ・ fish farm* と robot*: ヒット数 0
- ・ aquacultur* と robot* の AND 検索: ヒット数 10
- ・ fish* と robot*: ヒット数 102

表 2 最近の特許活動

大学/研究機関	タイトル	特許要約の抜粋
不明 (発明者: Lee Il)	「魚の捕獲と水中排泄物を収集できる、水中カメラを用いた魚の捕獲装置」 (文献 13)	「目的：魚の捕獲を促進し、水中の排泄物の収集を容易にするために、水中カメラを用いた魚の捕獲装置が提供される。これにより、海のエコシステムを護り、漁業を発展させる。 構成：魚の捕獲装置は以下の要素で構成される。①魚の捕獲器（8 つのロボットアームを持つメインボディ）とロボットアームを取り巻くネット。ロボットアームは網目に繋がっているが、網目の寸法は小魚を保護するために（捕獲しないために）調整されている。②水中の状況を監視する水中カメラ。これを用いて魚を感知し、海のエコシステムに関する情報を得る。③貯水槽をバランスさせるためのバラスト。④水中排泄物収集器。」 (文献 13)

大学/研究機関	タイトル	特許要約の抜粋
不明（発明者： Gonzalez Alvaeez Julio Cesar）	「魚介類販売における信頼性、品質、食品の安全性を管理するためのシステム」（文献 14）	「この発明は、魚介類販売における信頼性、品質、食品の安全性を管理するシステムに関連する。同システムは、トレーサビリティ（履歴管理）を保証するための DNA 判定と低温流通体系の監視を基本とする。この発明によれば、ラベルの取り付けと魚の重量を量るロボットを用いて、捕獲地点の船上で魚にセルを取り付け、個体を識別する。」（文献 14）
中国農業大学 (中国)	「養殖場の遠隔動的水質監視システム」（文献 15）	「この新案特許は、養殖場の遠隔動的水質監視システムに関連する。これは、リアルタイム、動的かつ遠隔（ワイヤレス）で、複数の水質パラメータの監視を実現する。主要な側面として、水温、PH 値、電気伝導性、溶解酸素、酸化還元電位、塩分濃度、濁度、照度を測定する。その一方で、遠隔動的水質監視システムを拡大して、より多くの水質パラメータに対する監視活動を実施し、また大規模分散型の遠隔動的水質監視ネットワークを異なる地点に建設することができる。」（文献 15）
不明（発明者： Hjalti Hardarson 他）	「水中検査」（文献 16）	「この発明は、自律型無人潜水機（autonomous underwater vehicles: AUV）を用いた水中の調査と監視のための方法やシステムに関連する（養魚場の柵など）。複数の外部音響送信機を用いて、所定の照合システムや推測航法を利用することにより、AUV の位置を特定できる。」（文献 16）

出典：Strategic Business Insights（SBI）

SBI の EXPLORER AND SCAN プログラムを利用した検索

SBI の Explorer 研究プログラムには、農業用ロボットおよび水中ロボットを含む各種用途向けのロボット開発に関するものが含まれていた。以下に例を示す。

①水中木材伐採ロボット

Triton Logging 社（カナダ、バンクーバー）が、洪水で水没した森林から木を収穫するためのロボットを用いた水中伐採システムを開発したと、2004 年 3 月の *New Scientist* 誌で初めて発表された。（酸素がないため、このような木は腐らない。）このシステムは、チェーンソーと木をつかむアームを備えた 3.5 トンの遠隔操作水中潜水艦から成る。アームが木をつかみ、チェーンソーが幹を切る。木を切り終わると、ア

ームは木を放し、木が水面に浮かびあがってくる。この技術について論じた複数の論文によれば、同社はこの機械が数年で利益を出せると確信しているとのことである。

(文献 17, 18)

②水中調査ロボット

これまで河川、湖、災害用の貯水池の水質調査は、人手を使って採取した水のサンプルを研究所へ持ち帰って分析するという、手間のかかる作業が必要だった。2004年に、**シラキウス大学** (ニューヨーク、シラキウス)の研究者たちは、ネットワーク化して利用する水中ロボット (Remote Underwater Sampling Stations: RUSS)を開発したと報告した。これにより、米国全土の水系をほぼリアルタイムで分析できるようになる。研究チームは現在、セネカ川 (ニューヨーク市民に水を供給する) に流れ込む水系を調査している。iafrica.com ウェブサイトで掲載された 2004 年の論文によれば、「浮遊するプラットフォームにつながれた、可動式の水中センサーパッケージには、内蔵コンピュータ、ソーラーパネル、位置追跡用の遠隔測定機器が含まれている。」開発者たちは、RUSS が米国の水路をテロリストの攻撃から守るのに役立つと期待している。(文献 19)

③船体掃除ロボット

ニューキャッスル大学 (英国ニューキャッスル) の研究者たちは、船体の水面下の部分 (喫水) の周辺をゆっくり潜航し、生物付着を取り除くことができる自律型ロボットの原型を開発した。ロボットは圧力洗浄機のような働きをする。ロボットは、自己の周辺の水を 1 分間に 150 リットル吸引し、この海水を船体の表面に向けて加圧噴射して、全ての生物付着を取り除く。研究チームは、船が就航中でもロボットを操作できるようになると確信している。

ウェブ検索

一般的なウェブ検索で、養殖用ロボットの研究、開発、商業化に関する以下の情報が明らかになった。

①魚の個体識別標識に関する欧州連合 (European Union: EU) プロジェクト

CORDIS ウェブサイトによれば、2006 年に「自動化とロボット工学に特化したギリシャの企業が、ロボットを用いた魚の個体識別標識システムを開発した。このシステムは、魚の陸揚げ港や養殖魚のパック詰め施設での自動化技術 (ロボットシステム) の導入を目的としている。ロボットは、魚を傷つけることなく、頭部の特定部位に特別なタグ (個体識別標識) を埋め込む。同社は、技術支援を伴うジョイントベンチャーや商業化協定に関心を示している。」このギリシャの企業名は公表されていない。(文献 20)

②養魚場用ロボット

フィンランドの **Arvotec 社**^{注2}の研究者たちは、養殖用の給餌ロボットを開発した。同社によれば、「Arvotec 給餌ロボットは、給餌効率を改善し、給餌にかかる手間暇を削減する。1機のロボットが複数のタンクに給餌するため、各タンクに給餌者1人を配置する必要がなくなる。(中略)また、ホッパーを使って給餌の回転率を上げることで、酸敗臭や貯蔵の問題が軽減した。ロボット給餌システムは、現地のプログラマーまたはPCにより制御されている。」(文献 21) You Tube で同社の技術を実演するビデオを見ることができる^{注3}。

③海洋技術センター

ニューハンプシャー大学海洋技術センター^{注4}(ニューハンプシャー州ダーラム)は、多数の持続可能な洋上養殖システムを開発中である。同センターのウェブサイトによれば、給餌ブイや環境監視システムを含む多数の海面生簀用自動システムを開発中のことである。

④ロボットを利用した海洋牧場

マサチューセッツ工科大学(MIT;マサチューセッツ州ケンブリッジ)の研究者たちは、洋上養殖のための「アクアポッド(Aquapod)」囲い込みシステムを開発した **Ocean Farm Technologies**^{注5}社と共同で、自動化された養殖システムの開発に取り組んでいる。2008年11月17日付けの **Business Week** 誌の論文によれば、『将来、生簀は照明、位置センサー、監視機材一式を備えた浮遊型プラットフォームにつながる予定である。これらは皆、波動運動または太陽電池で動く。餌は人が交換しなければならないが、このようなシステムはほぼ自律的である。稚魚を入れてパナマから出発した海洋牧場はメキシコ湾流に乗り、数ヵ月後にマイアミ近辺に現れる。そのころには、魚穫できるようになっている。Lockheed Martin 社が、こうした海洋牧場の遠隔管理システムを構築する予定である。』と **MIT 洋上養殖工学センター**のセンター長クリフ・グッディ氏は言う。」(文献 22) MIT のその他の研究には、AUV など多数の実現技術の開発が含まれる^{注6}。

⑤ハワイの養殖生簀

Hawaii Oceanic Technology 社は、ロボット技術を使った洋上生簀を開発しているもう一つの企業である。同社のウェブサイトによれば、**Oceansphere™**は「外洋養殖技術に革命をもたらすもので、Oceansphere™により外洋での魚の育成(飼育)が実用的かつ現実的なものになる。(中略)自律型で海底とつながっていない Oceansphere™は、非常に小規模な設置面積で大きな漁獲を得られるよう設計されて

注2 <http://www.arvotec.fi/>

注3 <http://www.youtube.com/watch?v=X2--qwpptD4>

注4 <http://amac.unh.edu/>

注5 <http://www.oceanfarmtech.com>

注6 http://seagrant.mit.edu/about_us/strategicplan/part2.html

いる。たとえば、1平方マイル（約 2.59 m^2 ）の半分以下の面積に Oceansphere を 12 台設置した場合、最大 24,000 トンの海産物が収穫できる。OceansphereTMは、特許出願中のハイブリッド海洋熱エネルギー変換システムにより作動する。化石燃料に頼らないため、環境への負荷を最小限にしてシステム全体を稼働できる。」（同社の技術は、ウェブサイト^{注7}で動画を見ることができる。）

一般的な結論

上記の情報から概して言えることは、企業および研究機関による開発が以下の通り進んでいるということである。

- ・ 養殖におけるロボットの利用は、まだかなり初期段階にある。現時点では、企業や研究機関は、ロボットやロボット関連技術を使用するいくつかのコンセプトを開発した。養殖用途向けの特別なロボットの開発に関する出版物は、かなり少ない。
- ・ さらに、他の検索結果から、養殖用途でのロボット使用に直接関連する特許はほとんど見られなかった。このことから、この分野が非常に新しいものであることは明らかである。
- ・ しかし、養殖は全体として進歩しており、企業や研究機関は、陸上（たとえば、自動化された養魚場の囲い）および洋上（たとえば、海面生簀）で使用する多数の新技术を開発している。これらの技術は、自動化およびロボット工学と重複する部分がある。
- ・ 一般的に、ロボット、AUV および他の水中自律型技術は、以下のような養殖での応用が数多く見られるようになると考えられる。
 - ① 養魚場の囲いのための自動システム
 - ② 海面生簀のための自動システム
 - ③ 水質の監視、水のサンプル検査
 - ④ 魚の状態や位置の監視（場合によっては魚の捕獲）
 - ⑤ システムの安全と保護
 - ⑥ 自動化された品質管理システム
 - ⑦ 養殖向けの支援サービス（清掃/付着物の除去、水中清掃システムを含む）

文献

1. “World Robotics 2008”, IFR Statistical Department report, 2008
2. Robotica (2003), 21: 233-243 Cambridge University Press (see <http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=150821>)

^{注7} <http://www.youtube.com/watch?v=y5OLxxM64KY>

3. Ching Seong Tan, Soetedjo, A, Robotics, Automation and Mechatronics, 2008 IEEE Conference; 21-24 Sept. 2008
(http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=4681497)
4. Control Engineering Practice, Volume 16, Issue 4, April 2008, Pages 495-504, Special Section on Manoeuvring and Control of Marine Craft
5. Aquacultural Engineering
(<http://www.sciencedirect.com/science/journal/01448609>), Volume 35, Issue 3, October 2006, Pages 218-227
6. Aquacultural Engineering, Volume 38, Issue 2, April 2008, Pages 97-104
7. Aquacultural Engineering, Volume 33, Issue 2, August 2005, Pages 110-125
8. Aquacultural Engineering, Volume 37, Issue 1, July 2007, Pages 67-72
9. Aquacultural Engineering, Volume 41, Issue 1, July 2009, Pages 22-27
10. 7th Hellenic Symposium on Oceanography and Fisheries. Chersonissos, Greece, 6-9 May 2003
11. 2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV 2007), vol.2.
(http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=4290237)
12. African Journal of Marine Science 2006, 28 (2): 251-255
13. Patent KR20040083996, 2004
14. Patent WO2007147917, 2007
15. Patent CN201242545, 2009
16. Patent WO02084217, 2002
17. New Scientist, 2004 (see <http://www.newscientist.com/article/dn4811>)
18. Triton Logging Web site (see <http://www.tritonlogging.com/press.html>)
19. RUSS project Web site (see <http://lakeaccess.org/russ/>)
20. “Robotic system for fish tagging”, 2006
(http://cordis.europa.eu/search/index.cfm?fuseaction=result.document&RS_LANG=EN&RS_RCN=8260319&pid=1&q=D72ABBAF6218390A0569BC9D012C4696&type=sim)
21. Arvotec Web site (see http://www.arvotec.fi/feeding_technology/robot_feeding_system.html)
22. Business Week, November 17, 2008 Issue Posted November 6, 2008
(http://www.businessweek.com/magazine/content/08_46/c4108greenbiz184899.htm?chan=magazine+channel_what%27s+next).

翻訳： NEDO (担当 総務企画部 吉野 晴美)

出典： Strategic Business Insights Explorer Program

【MEMS・ロボット特集】 ロボットの安全性**ロボットの安全性確保プロジェクト（欧州）**

NEDOは経済産業省に協力して各分野の「技術戦略マップ」のローリング作業を行っており、その一環として海外におけるロボットに関する技術開発および国際標準化などその普及に向けた政策・戦略（共同開発体制の構築、技術の国際規格・安全等のルールづくり）の策定・遂行に関わる体制や取組状況を調査している。本稿は『技術戦略マップ2009』策定の過程で行った調査から、欧州におけるロボットの安全性確保プロジェクトに関する部分をNEDO成果報告書から抜粋・編集し紹介する。

欧州における安全性に関するルール^{注1}

ロボットに限らず全ての機械は、欧州連合(EU)で販売する際に、「機械指令 (machine directives)」に従う義務がある^{注2}。ただし、機械指令は「EU市場で販売する製品は安全でなければならない」と定めているだけで細かい技術基準まで定めているわけではない。機械指令だけでは何をどうすれば従っていることになるのか明確ではないため、産業界が自ら定めるガイドラインが「規格 (標準)」である。しかし、これも機械の安全性を確認する原則・ガイドラインを示しているのみであり、安全基準や安全試験の実施方法、リスクアセスメントの手順まで示したものではない。

従って、メーカーは、どのような方法でどこまで安全性を確保しているか、どのようなリスクが残っているかを自らリスクアセスメントをおこなって明らかにして、製品を市場に出すことが必須となる。

なお現状では、サービスロボットに関する安全規格は無い。欧州や米国では、「ある製品に関して安全規格が無い場合は、それと類似した製品の安全規格や類似した製品のメーカーの安全性確保の方法に従わなければならない」という原則 (principle)がある。従って、サービスロボットについては、産業用ロボットの安全規格をベースに対応することになる。

欧州におけるロボットの安全性確保のための技術開発プロジェクト

欧州では、サービスロボットの開発・実用化で先行している日本を意識し、人間と共生・協働できるロボットおよびその安全性確保技術の開発やロボットの普及を目指す大規模なプロジェクトが欧州委員会 (EC)の資金援助の下で複数進行している。

^{注1} ドイツ職業保険組合・労働安全研究所(Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz: BGIA)を含む、ドイツ規格協会 (DIN)が組織するロボットの安全性に関する国際標準化会議ドイツ代表団のメンバーに対するインタビュー (2008年9月29日) より。

^{注2} http://www.tuv.com/jp/machinery_directive_98_37_ec_.html

SMEロボット

「SMErobot (エスエムイーロボット)」は、現状の自動化技術は大企業向けに開発されており高額で複雑なため中小企業（SME; small and medium-sized enterprises）には利用できないとの認識の下、手の届く価格で中小企業のニーズに応える自動化ロボットを開発・提供することを目指したプロジェクトで、正式名称は「the European Robot Initiative for Strengthening the Competitiveness of small and medium sized enterprises(SME) in Manufacturing」である。多様な動作に適応し低コストで運用できる自動化ロボットシステムと、生産量・期間の不安定さや作業者の能力のばらつきを考慮したロボットシステムの構築・運用モデルおよびサプライチェーンの開発が目的である^{注3}。

事業期間は、2005年3月1日からの4年間で、「FP6 (第6次研究技術開発フレームワークプログラム)」の下で欧州委員会 (EC)が資金を補助した。プロジェクトを推進するコンソーシアムの構成は、コーディネーターをFraunhofer IPA (Fraunhofer Institut Produktionstechnik und Automatisierung)(フラウンホーファー生産工学自動化研究所)のMartin Hägele 氏が務め、Fraunhofer IPA からスピンオフした技術移転会社であるGesellschaft für Produktionssystem GmbH (GPS)社のMatthias Hans 博士が共同でプロジェクト管理をおこなっている。産業界からは、欧州の5大ロボットメーカー全てが初めて一緒に参加しており、部品メーカー、システムインテグレーター、中小企業ユーザーも参加して、中小企業にロボットを供給するための新たなサプライチェーンの構築を目指している。また、中小製造業を対象にコンサルティング業を展開しているPro Support B.V. 社（オランダ）が、中小企業のグループを組成し、中小企業のニーズの取りまとめや、中小企業へのロボットの導入や教育、実証試験や評価に当たって中小企業とサービスプロバイダーの橋渡しを担っている点が特徴である。さらに、研究機関や大学も参加しており、欧州の多数の国から参加を得ている。本プロジェクトでは、具体的には次の3つを実現するロボットの開発が目指された。

- a) 人間と同様の指示命令を理解できること、
- b) 人間が直接接して安全かつ生産的であること、
- c) 3日で導入できること。

以上のコンセプトで開発された縦長アーム型の溶接ロボットは、ロボットを手で持って一度動かすだけで、ロボットはその動作を覚えてそれを自律的に繰り返し行うようになるというものである。多様な部品を用いる製造現場にコンピュータを導入しようとすると、部品が変わる都度プログラムを組み直す必要が生じ、かえって非効率であるが、本ロボットは、作業対象の部品が変わっても対応でき、動作をプログラミングする必要が無いため、製造現場に容易に導入することができる（補足的にコンピュータで動作速度や角度を修正・変更することもできるようになっている）。安全性も考慮されており、一定の範囲に

注3 www.smerobot.org

人間が入らないよう避けるように動き、また入ると動作を停止するため、人と同じ作業現場で協同して動くことができる。一方、人がやさしく触れれば動かすこともできる。大きさは作業台の上に置けるほどコンパクトで重量も軽く、自由に設置場所を変えることができる（なお、開発されたロボットを紹介するDVDが作成されている）。開発されたロボットは、上述したコンソーシアム体制で参加メンバーが連携し、様々な業種の中小企業の実際の現場への導入がおこなわれた。

PHRIENDS (フレンズ)

本プロジェクトは、人間と同じ場所で協働することができる、「安全でかつ信頼性の高い (dependable)」ロボットを開発することを目標とし、そのためのキー・コンポーネント (key components)を開発するもので、正式名称は「Physical Human-Robot Interaction: DepENDability and Safety」^{注4}である。一言で言えば、ロボットと人間とを「友達」にすることを目指しており、「PHRIENDS」は“friends”にかけている。

プロジェクトの期間は、2006年10月1日～2009年9月30日の3年間であり、予算総額は約355万ユーロで、うち215万8千ユーロをFP6の下で欧州委員会が補助している。補助率は、大学や公的研究機関はほぼ100%、企業は低くなっている。

プロジェクトのコーディネーターは、ピサ大学 (Università di Pisa)のCentro “E.Piaggio”のAntonio Bicchi博士が務めており、公的研究機関としてドイツのDLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt)(ドイツ航空宇宙研究所)のInstitute of Robotics and MechatronicsとフランスのCNRS (Centre National de la Recherche Scientifique)(国立科学研究センター)のLAAS (Laboratoire d’Automatique et d’Analyse des Systems)(解析・制御技術研究所)が、産業界からKUKA社が、学界からローマ大学 (ラ・サピエンツァ校)とナポリ大学 (Università di Napoli)が参加している。

安全なロボットはしばしば動きが遅すぎて実務的に役立たないことがあるが、本プロジェクトでは、安全であるだけでなく、役に立つパフォーマンスを行う「信頼性の高い (dependable)」ロボットを開発することが目標である。

また、人間と物理的に相互作用 (interact)するロボットは最も厳しい安全基準を満たす必要があるため、力学、制御、アルゴリズムの設計、監視システムなどロボットの全てのコンポーネントの設計において新たな挑戦を課すものとなっている。それは、産業用ロボット向けの古典的な設計方法を改革するものとなっている。

なお、本プロジェクトに参加している各研究機関や企業は、共同研究をしているのでは

^{注4} www.phriends.eu および www.phriends.org 参照。

なく、個別に研究を進めている。

世界で初めて人間と同じ場所で、フェンスで囲むことなく安全に協働できるロボット「Light Weight Robot: LWR」の開発は、「PHRIENDS」の一環でDLRのInstitute of Robotics and Mechatronicsによって行われたものである。自由度7（関節が7つある）ため、360° あらゆる方向に自由に動かすことができるアーム型のロボットで、アームの先端部分から一定範囲内に人間が近づくと、それに応じて人間から離れる、また、もし追従が間に合わず、ロボットに手や壁が当たれば自動的に停止する。このLWRを、KUKA社がDLRから技術移転を受け、プロジェクト「CARE (Coordination Action for Robotics in Europe)」^{注5}の一環で、製造現場で人間と協働できるロボットに改良した。総重量は15kg、最大荷重は7kgで、IROS2008にも出展されていた。2008年秋時点では、信頼性を確認中であることから、大学・研究機関のみに対して販売されているが、自動車メーカーからの要望を受けて産業用に改良されたものであり、潜在顧客から既に高い期待を受けている。

編集：NEDO（担当 総務企画部 清水太郎）

出典：NEDO 成果報告書データベース (<http://www.nedo.go.jp/database/index.html>)

平成 20 年度調査報告書「次世代ロボット分野における国内外技術動向 調査と技術戦略マップのローリング（平成 21 年 3 月）」（管理番号 20090000000742）

^{注5} ロボット分野における研究の優先順位を定め、EUROP*が2006年に決定した最初の「Strategic Research Agenda :SRA (戦略的研究課題)」を見直すことを目的とした、2006年1月11日～2009年10月31日までの3年半強のプロジェクト。

* (European Robotics Platform)(欧州ロボット工学プラットフォーム)。European Technology Platforms: ETP (欧州テクノロジー・プラットフォーム)の中のロボット分野のフォーラム。

【ロボット・MEMS 特集】 BMI BCI ロボット

ブレイン・マシン・インターフェース(BMI)の研究開発動向（世界）

1. 調査方法

ブレイン・マシン・インターフェース(BMI: Brain-Machine Interface)^{注1}の分野の研究開発動向を調査するために、2 次的な調査ツール^{注2}を用いて検索を実施した。さらに、最近の特許情報、研究出版物、無料で取得可能な企業情報を検索し、研究開発活動、商業化に向けた活動について調査した。検索では、日本以外の研究グループと技術開発者（企業）に関する最近の活動をハイライトした。検索の実施方法は以下の通りである。

- ・ SBI のエクスプローラとスキャン

まず、米国ストラテジック・ビジネス・インサイト社(SBI: Strategic Business Insights)のエクスプローラとスキャン・プログラム(Explorer and Scan programs)^{注3}情報の要約を検索した。この中には、Michael Gold (SBI のロボットおよびユーザー・インターフェース分野担当のアナリスト) の意見も含まれている。

- ・ 研究出版物

Google Scholar を使用して検索し、過去 5 年間の研究論文と若干の特許をリストアップした。

- ・ 特許

esp@cenet を使用して過去 5 年間に出版された特許の検索を行った。

- ・ ウェブ検索

高度なウェブ検索 Advanced Web Search (Google.com) を使用して、BMI の研究開発や商業化に関連した最近の記事を検索した。

2. はじめに

思考によって機械を制御することの可能性は、長い間、人間の想像力を捉えてきた。この概念は、SF 作家に多数のひらめきを提供してきた。実際は、BMI 研究の大部分は医学

注1 ブレイン・マシン・インターフェース：脳の神経ネットワークにおける活動を外部に電気信号で取り出してコンピュータに入力したり、逆にコンピュータの信号を脳に入力するためのインターフェース。ブレイン・コンピュータ・インターフェース(BCI: Brain-Computer Interface)とも呼ぶ。またインターフェースとは、「二つのものの間にあって、情報のやり取りを仲介するもの（変換を含む）」という意味のコンピュータ用語である。

注2 様々な情報を収集し、分野別に分類してあるサイトなど。解析や解説が加えられているものもある。

注3 非公開（有料）データベース

に係るものであり、未だ実用レベルには達していないものの、その進歩は顕著である。プレイヤー（研究開発者等、この分野の関係者）が、一般に BMI、またはブレイン・コンピュータ・インターフェース(BCI: Brain-Computer Interface)として知られているいくつかの技術を開発中である。これらの技術は、どの程度、侵襲的^{注4}であるかにより、いくつかのカテゴリーに分類できる。

侵襲的（脳内部）：

脳内インプラント（埋め込み、移植）による視覚機能、あるいは運動機能の回復は典型的な侵襲の例である。

半侵襲的あるいは部分侵襲的（体内だが脳外）：

電極を用いて大脳皮質の電気的な活動を記録する皮質脳波記録(EECoG: electrocorticography)技術など。EECoGは、1950年代から様々な形で存在してきたが、最近になって BCI 用途で初めて利用された。

非侵襲的（体外）：

いくつかの非侵襲的神経画像技術もまた、BMI/BCI の基盤となりつつある。脳波記録(EEG: Electroencephalography)は、非侵襲的 BMI という点では、おそらく最も研究されてきた技術であろう。実際、この領域の研究は何十年も続けられている。プレイヤーは、脳磁図(MEG: Magnetoencephalography)や機能的磁気共鳴画像法(fMRI: functional Magnetic Resonance Imaging)に基づく技術の研究（あるいは場合によっては商業化）にも取り組んでいる。

3. エクスプローラ及びスキャンプログラムによる情報検索結果

エクスプローラ及びスキャンプログラムでは、BMI 技術のいくつかの応用分野における進展を取り上げてきた。それらの応用分野は、医療、ロボット、ゲーム、家庭用電化製品である。事実、BMI 技術の開発は、過去数年間加速してきている。これまでかなりの期間、この分野において政府が助成するプロジェクトが存在してきた。有名な例には、国立補綴^{注5}学（ほていがく）プログラム(NPP: National Prosthetics Program)がある。米国立衛生研究所(NIH: National Institutes of Health)は、1990年代に様々な分野の研究者間の学際的な連携を促進することを目的として、NPP を設立した。エクスプローラ及びスキャンプログラムが取り上げた最近の顕著な活動を時系列で述べる。

・2002 年

ニューヨーク州立大学・州南医療センターの研究者チームは、リモート・コントロール（遠隔制御）可能な生きているロボ・ラットを開発した。その技術は、ラット（ネズ

^{注4} 侵襲：生体を傷つけること。外科手術による切開、切除は代表的な侵襲の例。侵襲の反対が非侵襲である。

^{注5} 補綴：体の欠損した部位を人工物で補うこと。義歯、義足などは補綴の例である。

ミ) の脳の特定部位に刺激を与え、ひげを動かしたり、ご褒美の食物を受け取らせるものである^{注6}。

・ 2003 年

デューク大学(Durham, North Carolina)の研究者は、思考により制御するロボット分野における重要な開発を行った。チームは、サル脳の活動を翻訳し、この翻訳結果をロボットアームを動かすために使用可能にするニューロンモデルを開発した。研究者は、最初に、サルがコンピュータ画面上のカーソルを動かす時のサルの脳活動をモニターし、データを収集し、処理した。このデータにより、チームは、ニューロンモデルを開発することができた。次にチームはモデルを使用してサルの思考を通訳し、サルが思考のみを使用してロボット・アームを制御することを可能にした^{注7}。

・ 2005 年

Wired のウェブ・サイトの 2005 年 1 月の記事によると、研究者が BMI に関して公表した学術論文全体の半数以上が、2 年以内に発表されたものだという。CyberKinetics 社は、インプラント可能なインターフェース・システム「BrainGate」を開発したと発表した。同社によれば、このシステムは、ユーザーが思考によって、コンピュータの機能のいくつかを制御することを可能にするものである^{注8}。

・ 2006 年

マサチューセッツ総合病院とブラウン大学 (Providence, Rhode Island) の研究者は、センサーを対麻痺者 (ついまひしゃ)^{注9}の脳にインプラントした。このインプラントにより、患者は、思考のみによってコンピュータ画面上のカーソルを制御できるようになった。

また患者は、義手の指を開いたり閉じたり、ロボット・アームを動かすこともできるようになった。ブラウン大学の研究者によって開発されたハードウェアは、脳内のニューロンの発火を評価し、この情報を変換して動作につなげた^{注10}。

・ 2006 年

カールトン大学(Ottawa, Canada)の研究者は、脳波を、パスワードのセキュリティ保護対策に使用することについて探究した。この研究では、「パスワードについて思考すること」が、「パスワードを入力すること」に相当する。「パス思考(Pass-thoughts)」は、あらゆる心の情報の断片 (たとえば、好きな歌や美術品など) を含むことが可能である^{注11}。

^{注6} Explorer Robotics June 2002 Viewpoints
(<http://www.sric-bi.com/Explorer/ROBO/ROBO.2002-06.shtml>)

^{注7} Explorer Robotics December 2003/January 2004 Viewpoints
(<http://www.sric-bi.com/Explorer/ROBO/ROBO.2004-01.shtml>)

^{注8} Explorer April 2007 Robotics Viewpoints
(<http://www.sric-bi.com/Explorer/ROBO/ROBO-2005-06.shtml>)

^{注9} 対麻痺：両下肢の運動麻痺。脊髄障害、損傷によるものが多い。

^{注10} Explorer June 2006 Robotics Viewpoints
(<http://www.sric-bi.com/Explorer/ROBO/ROBO-2007-04.shtml>)

^{注11} Scan abstract SC-2006-06-21-045 discussing Wired article,
(<http://www.wired.com/science/discoveries/news/2006/04/70726>)

・ 2007 年

山東科学技術大学(China)のロボット工学センターの研究者は、リモコン鳩を作製したと発表した。2 月 27 日付けの中国の公式報道機関の報道によると、研究者は、コンピュータにコマンドを入力することにより、鳩をどのような方向にも飛ばすことができた^{注12}。

・ 2007 年

Emotive Systems 社^{注13}と NeuroSky 社^{注14}は、電極を取り付けたヘッドセット（マイク付きヘッドフォン）と脳からの脳波検査(EEG)信号を、コンピュータ・ゲームの制御用に使用する計画を発表した^{注6}。

・ 2008 年

CyberKinetics 社は米国医薬品局(FDA)の製造承認を取得できず（従って、製品を市場に出荷できない）、すべての資産を売却した。同社の BrainGate 技術は、The BrainGate Company 社^{注7}(Boston, Massachusetts)が取得した^{注8}。

・ 2008 年

Scientific American 誌の 2008 年 11 月 1 日号の記事の中で、ブラウン大学の John P. Donoghue 教授は、今後の 5 年間で、BMI は麻痺患者がコップを持ち上げて水を飲むことを可能にするだろうと予測している^{注9}。

・ 2008 年

この年、生体電気フィールドセンサーを備えたヘッドマウント（頭部装着）型のゲームコントローラが入手可能になった。供給業者は、音を出さずハンズフリー（手を使わないで操作できる）で、アバター^{注10}と武器の制御が可能な機能を提供すると約束した。センサーは頭の周りの電場の変化を検知するものであり、皮膚抵抗と心拍数を計測する従来の製品よりも性能が良いとしている。

マーケティング・リサーチャーや報道記者、ブロgger（インターネット上で日記を書いている人）の中には、「ユーザーは、思考のみによって、ゲームの動きを制御するだろう」と述べる人もいる。Emotiv Systems 社、NeuroSky 社、OCZ Technology Group 社^{注11} の 3 社が競合している^{注12}。

^{注12} Explorer June 2006 Robotics Viewpoints
(<http://www.sric-bi.com/Explorer/ROBO/ROBO-2007-04.shtml>)

^{注13} <http://emotiv.com/>

^{注14} <http://www.neurosky.com/>

^{注15} Explorer August 2007 Robotics Viewpoints
(<http://www.sric-bi.com/Explorer/ROBO/ROBO-2007-08.shtml>)

^{注16} <http://www.braingate.com/>

^{注17} Boston.com Web site article, August 2009
(http://www.boston.com/business/technology/innoeco/2009/08/cyberkinetics_braincomputer.html)

^{注18} Explorer August 2009 Robotics Viewpoints
(<http://www.sric-bi.com/Explorer/ROBO/ROBO-2009-08.shtml>)

^{注19} アバター：オンラインゲームやビジュアルチャット、掲示板などのインターネット上のコミュニティにおいて、自分の分身として画面上に登場するキャラクター。漫画のようなキャラクターが用いられる場合が多い。

^{注20} <http://www.ocztechnology.com/>

^{注21} User Interfaces July 2008 Viewpoints (<http://www.sric-bi.com/Explorer/UI/UI-2008-07.shtml>)

・ 2008 年～2009 年

機能的磁気共鳴画像法(fMRI)は、脳内のパターンを読む道具であるが、ますます詮索されるようになってきた。たとえば：

社会的認知神経科学はホットな新しい分野であり、多くの注目を浴びている研究は、fMRI 脳画像を使用して、どのようにして脳内の活動が社会的な意思決定や認識と関連しているかを調べるものである。神経科学者の Edward Vul が主導したこの新しい研究は、これらの相互関係の内のいくつかは、まゆつばものではないかと思えるような事実から着想を得ている。チームは 54 の研究を調べ、半分以上の著者（論文）が方法論において重大な欠陥を含んでおり、結果として過度に脳内の活動を社会的意思決定や社会的知覚に相関関係付けしすぎていることを発見した。さらに、*Scientific American* 誌は、fMRI 技術への強い非難を発表した^{注13}。

SBI エクスプローラーのユーザーインターフェース及びロボット分野のアナリスト Michael Gold は、ゲームに焦点を当てた BMI の開発は過度に宣伝されすぎてきており、出荷は、これまでのところわずかであると考えている。彼が語るところによれば、Emotiv はまだベイパーウェア(vaporware)^{注14}だが、9 月には開発者向けにいくつかのヘッドセットを出荷した。Neurosky は、例えばマattel・マインド・フレックス(Mattel MindFlex)及びジェダイ・マインドコントロールゲーム(Jedi Mind Control Game)という形で発売された。これは、ハンマチャー・シュレマー・カタログ(Hammacher Schlemmer catalog)^{注15}に載っている。これ以外にもいくつかの NeuroSky ベースの製品があるようであるが、マattelへのライセンス供与はほとんどのものよりもおそらくより重要であろう。ジェダイゲームの販売促進アナウンスメントは、Neurosky を目玉にしているようには見えない。ニュース記事は、おもちゃを Neurosky 技術に結び付けているようではあるが。

4. 文献調査の結果

Google Scholar を使用して、昨年発表された論文の中からタイトルに複数の関連用語を含む論文を検索した。これらの関連用語とヒットした論文数は下記の通りである。

- ・ brain computer interface (1,200 件)
- ・ brain machine interface(215 件)
- ・ BMI and brain(19 件)

^{注 22} Mind hacks blog, December 2008 http://www.mindhacks.com/blog/2008/12/voodoo_correlations_.html
Scientific American, May 2008 (<http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=a-new-phrenology>)

^{注 23} ベイパーウェア：発売予定は発表されているが開発が遅れており、いつ実際に入手できるのかがあやふやなソフトウェアのこと。

^{注 24} <http://www.hammacher.com/>

表 1 は 2009 年の始めから 11 月 2 日までに刊行された BMI 関連の代表的な出版物を、11 の代表的な研究機関別に示したものである。

表 1 最近の BMI 関連の研究出版物

大学／研究機関	タイトル
Duke University (United States)	BMI において、四肢の動作を追跡するため 3 次元自動リアルタイムビデオシステム ^{注 25}
School of Computer Science and Electronic Engineering, University of Essex (England)	BMI 機能の宇宙利用向けの適合理化 ^{注 26}
Harvard Medical School (United States)/ Gachon University of Medicine and Science (South Korea)	リアルタイム fMRI による BMI 思考によって制御するロボットアームに関する予備研究 ^{注 27}
Northwestern University (United States)	神経系動態を評価するための、脳と機械の相互作用（対話） ^{注 28}
University of California, San Diego (United States)	乾式接触(dry-contact)、低ノイズの脳波図センサーを使用した BMI ^{注 29}
University of Florida, Gainesville (United States)	神経生理学サイバーワークステーションを用いた共生的(symbiotic)な BMI の開発 ^{注 30}
Mechatronics and Manufacturing Technology Center, Samsung Electronics Co., Ltd (South Korea)	ロボット応用から見た BMI ^{注 31}
University of Bremen (Germany)	個別ユーザ毎に適応可能な、BCI システム向け次世代インタフェース ^{注 32}
Wadsworth Center, New York State Department of Health BCI R&D Program (United States)	ヒトにおける皮質脳波信号を使用した指の屈曲の個別デコード ^{注 33}
University of Reading (England)	ハイブリッド・ブレイン生物学と技術の融合 ^{注 34}

出典：SBI

^{注 25} Journal of Neuroscience Methods, Volume 180, Issue 215 June 2009, Pages 224-233.

^{注 26} International Review of Neurobiology, Volume 86, 2009, Pages 199-212

^{注 27} Neuroscience Letters, Volume 450, Issue 1, 23 January 2009, Pages 1-6

^{注 28} Frontiers in Neurorobotics. 2009; 3: 1. Published online 2009 March 27. (Open Access, see <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2679156/>)

^{注 29} University of California open access paper, 2009: Download at <http://sce.uhcl.edu/boetticher/CSCI5931%20Computer%20Human%20Interaction/A%20Brain%20Machine%20Interface%20using%20Dry%20Contact%20Low%20Noise%20EEG%20Sensors.pdf>)

^{注 30} Lecture Notes in Computer Science, Volume 5611/2009 (see <http://www.springerlink.com/content/l371h288212q1470/>)

^{注 31} Human Movement Science, Volume 28, Issue 2 April 2009, Pages 191-203

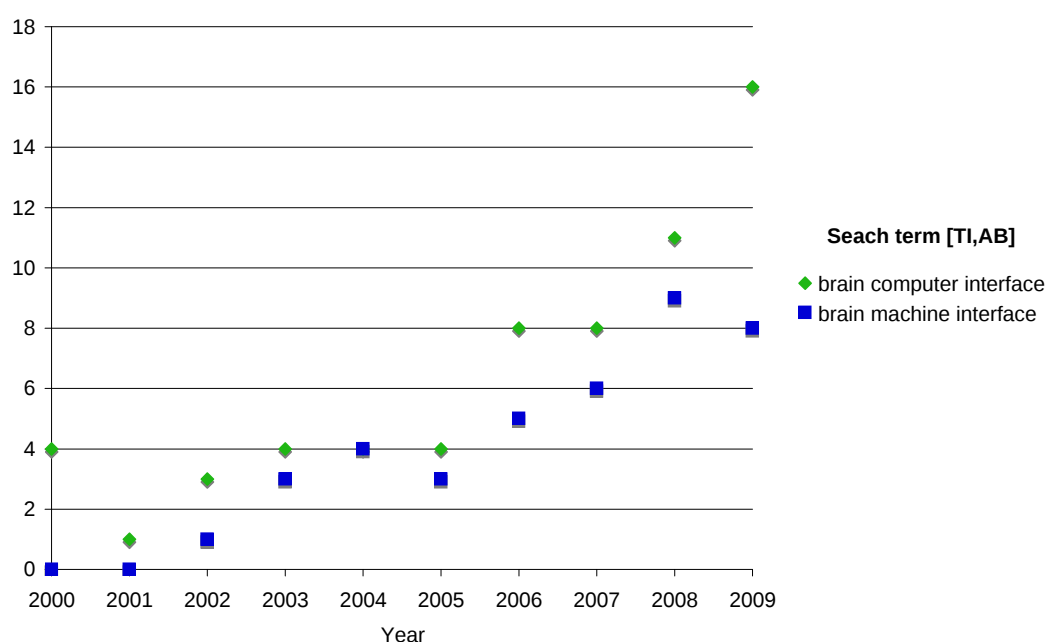
^{注 32} Lecture Notes in Computer Science, Volume 5611, 2009 (<http://www.springerlink.com/content/26150j8p40618464/>)

^{注 33} J. Neural Eng. 6 066001, 2009 (see <http://www.iop.org/EJ/abstract/1741-2552/6/6/066001>)

^{注 34} Communications in Computer and Information Science, Volume 25, 2009, Part 1, (see <http://www.springerlink.com/content/t63n5283w826pm22/>)

5. 特許動向の調査結果

特許の動向調査により、技術の進展に関するいくつかの情報が得られた。図1は、タイトル[TI]、あるいは概要[AB]フィールドに、フレーズ「brain machine interface」あるいは「brain interface」を含む特許出願数を、過去10年間に渡り年毎に示したものである。これを見ると出願数は顕著な増加を示しているが、全体数は、まだ少ない（20特許以下／年）。



*1 2009年のデータは、2009年11月2日現在の値

図1 最近の特許の動向

表2 最近の特許の動向

企業／研究機関	タイトル
Czech Technical University in Prague (Czech Republic)	BMI およびユーザーの自動識別 ^{注35}
Tsinghua University (China)	左右の視野の2周波数刺激による視覚誘導 BMI 手法 ^{注36} 高周波視覚誘発電位に基づいた BMI デバイス ^{注37}
Shanghai University of Science and Technology (China)	BMI における高性能な脳電気信号検出回路 ^{注38} BMI 向け脳電気信号検出システムと検出方法 ^{注39}

^{注35} Patent CZ19972, 2009

^{注36} Patent CN101477405, 2009

^{注37} Patent CN2888524, 2009

^{注38} Patent CN101433461, 2009

^{注39} Patent CN101436100, 2009

Tianjin University (China)	P300 信号及び信号処理方法による上肢回復訓練デバイス用の知的 BMI ^{注40} BMI による知的な車椅子制御システム、及び、その脳電気信号処理方法 ^{注41} BMI マウス制御方法 ^{注42}
University of Florida (United States)	強化学習(reinforcement learning)を用いた BMI 制御のシステムと方法 ^{注43}
New York University (United States)	BMI システムと方法 ^{注44} 導電性のポリマー・ナノワイヤーBMI システムと方法 (マサチューセッツ工科大学 (米国) との共同研究) ^{注45}
Nokia Corp. (Finland)	BCI を使用したコマンド制御タスクへの階層的なアプローチを提供する装置、方法、及びコンピュータ・プログラム ^{注46}
Philips Electronics (Holland)	BCI に関する改良 ^{注47}
Beijing Normal University (China)	人の顔認識用に特化したウェーブ N170(wave N170)コンポーネントによる BMI システム ^{注48}
Health Research Inc. (United States) & University of Washington (United States)	BCI ^{注49}
ST Microelectronics s.r.l. (Italy)	マンマシンインタフェースシステムと方法、例えば、リハビリテーション分野におけるアプリケーション ^{注50}
Neurosky Inc. (United States)	脳波信号処理システムによって定量的に精神状態を評価するための方法と装置 ^{注51}

6. ウェブ検索の結果

ウェブ検索でも BMI の研究と商業化に関する様々な情報が得られた。

- ・米国国防総省国防高等研究事業局(DARPA)はサイレント・トーク(silent talk)と呼ばれる研究プログラムを助成している。これは、言語を使用せずに兵士同士のコミュニケー

^{注40} Patent CN101391129, 2009

^{注41} Patent CN10130124, 2009

^{注42} Patent CN1949140, 2009

^{注43} Patent WO2008137346, 2008

^{注44} Patent US2008015459, 2008

^{注45} Patent EP1880388, 2008

^{注46} Patent WO2008117145, 2008

^{注47} Patent WO2009044325, 2009

^{注48} Patent CN101339455, 2009

^{注49} Patent CA2547768, 2005

^{注50} Patent US2005085744, 2005

^{注51} Patent CA2675507, 2008

ションを可能にすることを目標としている。2009年5月の *Wired Web* サイトの記事によると、「目標は、戦場において神経信号を解析することにより、声によらずにユーザー間のコミュニケーションを可能にすることである」としている。この研究は昨年、軍がコンピュータを仲介したテレパシーの可能性を探究するために、カリフォルニア大学に助成した400万ドルの研究支援の中の代表的なものである^{注52}。

- ・企業は、医療及び研究用途向け BCI の販売を継続している。
米国の Neural Signals 社^{注53} (Duluth, Georgia) は、患者が話す能力を回復するための、非侵襲的 BCI の開発を続けている。さらに、企業は非侵襲的技術 (the ImpulseTM switch^{注54}) を開発中である。さらにオーストリアの g.tec (Guger Technologies) 社 (Graz) は BC12000 を製造している。これは、ECoG および EEG 信号を用いた BCI の研究・開発向け汎用システムであり、g.tec 社は「300 以上の研究グループがこの技術を使用している」と主張している^{注55}。
- ・英国サザンプトン大学の研究者は、「いつの日か、思考をインターネット経由で他の人に送ることができるようにしたい」と、関連技術を開発中である。IT Chuiko ブログへの最近の投稿メッセージの中で、チームリーダーの Christopher James 博士は次のように述べている。「BMI は目新しいものではないし、二人の人が神経システム経由で対話することはすでに実証されている。この実験で初めて我々は、脳同士の実際のコミュニケーションを明らかにした。この技術の潜在的な用途は多いだろう。例えば：
病気に冒された人々、たとえば筋肉の疾患や外界との接触が完全に絶たれている人(筋萎縮性の側索硬化症による強度の麻痺。有名な物理学者の Stephen Hawking 教授の例がある)の生活の質(quality of life)の向上、およびコンピュータゲームの開発^{注56}。
- ・研究者達は、すでに BMI の開発と応用を取り巻く倫理上の問題について議論を始めている。たとえば、2009年2月の *Wired* ウェブサイトの記事によれば、「倫理と公共政策センター」の科学、技術、社会に関するプログラムのディレクター Adam Keiper は、「これらの技術が、人間の尊厳と調和を取って、あるいは、かけ離れたやり方で利用されるかどうかは中心的な問題である」と述べた。^{注57}
- ・アニマット(疑似生命体)の開発における相乗的な研究が進行中である。これは、脳物質を培養し、それらをコンピュータによるシミュレーションやロボットとインタフェースする。例えば、英国のレディング大学(Reading)と米国のジョージア工科大学(Atlanta, Georgia)の研究者は、ネズミの神経細胞の培養物を用いてロボットの動作を指示するシステムを開発した。培養物は、研究者がネズミの胎児から抽出した30万個の皮質ニューロンからなる。

^{注52} Wired magazine, 14 May 2009

(<http://www.wired.com/dangerroom/2009/05/pentagon-preps-soldier-telepathy-push/>)

^{注53} <http://www.neuralsignals.com/>

^{注54} <http://www.ablenetinc.com/Default.aspx?tabid=361>

^{注55} <http://www.gtec.at/content.htm>

^{注56} IT Chuiko, (<http://it-chuiko.com/internet/821-transmission-of-ideas-over-the-internet.html>)

^{注57} Wired Web site, February 2009 (<http://www.wired.com/wiredscience/2009/02/brainmachine/>)

7. 全体を通した結論

これまでに述べた調査結果より、産業界、及び大学・研究機関の研究者達による下記の技術の進展が示唆された。

ほとんどの BMI/BCI 技術は、世界中の大学や研究期間で未だ開発段階にある。注目すべき例外として、いくつかの大きなエレクトロニクスメーカー、たとえば Philips 社、Nokia 社、ST Microelectronics 社、また米国の小さな振興企業の NeuroSky 社及び Emotive Systems 社がある（表 2）。

ほとんどの研究論文や特許は、補綴やその他の矯正医療への応用に関係したものである。

欧州とアメリカのプレーヤーは、ゲームや家庭用電化製品用途の非侵襲的 BMI の開発を続けている。しかし、これらの技術の有用性や妥当性は依然として議論されているところである。

さらに米国では、プレーヤーは様々な防衛分野向けの BMI を開発している。

中国では、BMI/BCI 分野の多数の研究開発が進行中である（表 1）。これらの大学は、こうした研究／開発で特許を申請している（表 2）。

編集・翻訳： NEDO（担当： 総務企画部 久我健二郎）

出典：
Strategic Business Insights Explorer Program

【個別特集】 省エネ技術

DOE「Save Energy Now State Partnerships」年次レポート (1/3)

[内容]

エグゼクティブ・サマリー

序論

- A. 米国の産業
- B. 産業技術開発プログラム
 - 1) エネルギーと炭素放出強度を低減する技術の研究、開発、実証、およびその展開
 - 2) 技術の伝達および技術とマネジメントのベスト・プラクティスへのアクセス
 - 3) エネルギー管理と炭素排出マネジメントの価値に関する企業風土
- C. 提携による開発とその展開

(以下は次号以降に掲載予定)

「Save Energy Now State and Utility Partnerships」

(「Save Energy Now」 州と公益事業体との連携)

- A. 提携プログラムの概要: プログラム目標と挑戦的課題
- B. 成果

手法、公表と可能なリソース(資金・人材)

- A. 「Save Energy Now」 プログラムの政策手段とその公表
- B. 関連 IPT のリソース

参加の方法と連絡先

- A. 参加の方法
- B. 詳細情報の取得場所
- C. 2009 年度のニュース・情報
- D. 連絡先

エグゼクティブ・サマリー

米国エネルギー省 (DOE) 省エネ・再生可能エネルギー部 (EERE) の「産業技術プログラム (ITP: Industry Technologies Program)」は米国の産業界と提携した活動により、エネルギー効率化を実施し、米国の経済的な競争力を強化するものである。ITP は、技術とベスト・プラクティスの展開という目標の達成を狙い、財政および技術援助プログラムを作り実施してきた。ITP の展開を加速させるための主要な産業支援の仕組みの 1 つは州と公益事業体との連携である。“Save Energy Now State and Utility Partnerships program” (「Save Energy Now」 州と公益事業体の提携プログラム) は、価値ある出口を提供する; 効率の良い資金と情報を共有でき、効率化プロジェクトへの産業界の参加を増加させ、そして効率化の経済面および環境面での価値を広げる施策を行う。

Save Energy Now の州および公益事業との提携プログラムは 2007 年の夏に正式に開始された。2009 年度の同プログラムの年次レポート (以下「報告書」と略称する) では、プログラムの構造、ゴール、活動、および、その開始以来の州と (電気・ガス・水道などの)

公益事業体^{注1}とで達成した成果について、将来の見通しと共に概説している。この報告書は米国産業の現状と、戦略的な ITP の援助と提携によるエネルギー効率の改善に対する主な見込みを提供している。「*Save Energy Now State and Utility Partnerships*」プログラムは、ITP 提携の構築・展開 (PD&D: Partnership Development and Deployment) チームの基礎となるものであり、非常に多くの参加者と手法およびリソースを共有している。提携により ITP はより良いターゲットを得、産業の効率化のためのツールやメッセージに磨きをかけ、そして、製造会社と既に関係のある人々に必要なリソースを委ねることになる。この報告書では ITP が州と公益事業体との提携を広げ、強化することで得た知識や便益について掘り下げて検討している。また、プログラムや参加者達がエネルギー効率をさらに実現しようとするとき直面する課題についても検討している。

本書は「*Save Energy Now State and Utility Partnerships*」としての最初の年報である。将来的には、本書は年刊ベースで作成され、*Save Energy Now State and Utilities Partnership* の以下のウェブサイトに掲載予定である：

www.eere.energy.gov/industry/states、および www.eere.energy.gov/industry/utilities
 本書では広範囲な、価値のあるツールやリソースを ITP のパートナー（提携先）に紹介する。

重要なメッセージ

- ITP は、米国50州における産業でのエネルギー改善のために、財政面および技術面両方のサポートを提携先に提供する。
- ITPは州と公益事業体による産業効率化プログラムの開発と実行を援助する。
- ITPは連邦政府、州、および公益事業体がエネルギー効率化ツールや技術、ベスト・プラクティスを多くの企業にもたらすことを促進させる。
- ITP はそのリソースや知識を州政府やユーティリティー関連の人（stakeholder）に移管することを目指している
- ITP は特定の提携先のニーズに合わせたリソースを開発することも可能である。
- 「*The Save Energy Now State and Utilities Partnership*」のウェブサイトは、価値のあるリソースであり、それぞれの州に対して、産業、トレーニング、エネルギー評価、インセンティブ、および研究開発（R&D）プロジェクトに関する情報や、ITPとの提携の仕方や米国の工場に関する情報を提供している。
- ITPは、地域でのイベント、ツールや出版物、リーダーシップ、および提携を知る機会を通じて、その提携先に援助の手を差し伸べている。

^{注1} 編集部注：utility の翻語（〔電気・ガス・水道などの〕公共設備、公益事業）のこと

序論

A. 米国産業

製造業は米国経済の切り離すことの出来ない一部である。図1に示すように、製造業は国内総生産（GDP）^{注2}の内の1.6兆US\$（全体の11.5%）を占めており、1,180万人を雇用している^{注3}。

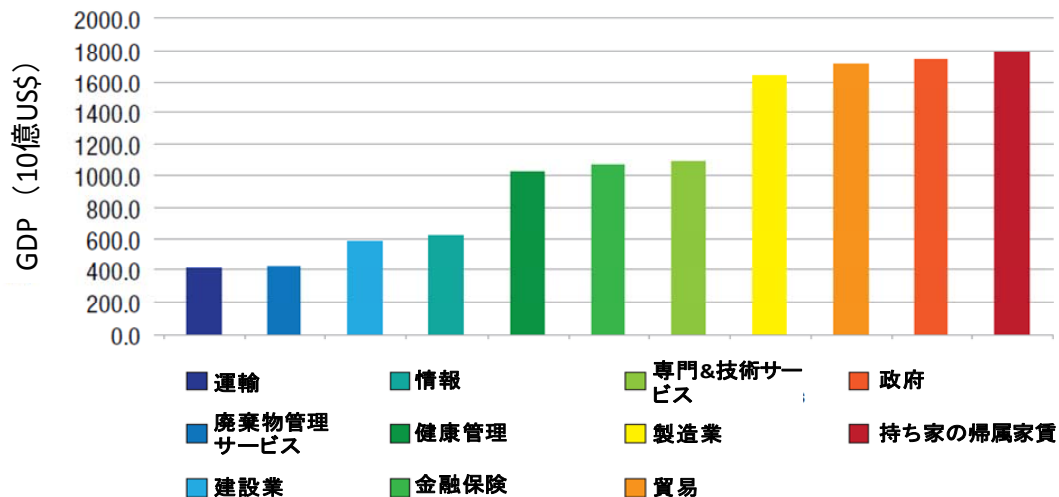


図1: 2008 米国GDP（産業別）^{注4}

しかしながら、産業のインパクトは経済的に重要であるばかりでなく、環境的にも重要である。製造業は米国における全エネルギー消費の1/3近くのエネルギーを毎年消費しており^{注5}、（米国の製造業だけで）G8の他のどの国（の全産業セクター合計）よりも多くのエネルギーを消費している。図2^{注6}に示すように、マッキンゼー・アンド・カンパニー（McKinsey and Company）では米国の産業エネルギーの効率化により3.6千兆Btu^{注7}、2020年までのベースラインから18%以上を節約することが可能であると見ている。

^{注2} Bureau of Economic Analysis. “Gross Domestic Product by State.” ダウンロード；
<http://www.bea.gov/regional/gsp/> アクセス 2009.10.13.

^{注3} Bureau of Labor Statistics, Current Employment Statistics - CES (National). “Employees on nonfarm payrolls by major industry sector and selected industry detail, seasonally adjusted.” ダウンロード；
<ftp://ftp.bls.gov/pub/suppl/empstat.ceseeb3.txt> アクセス 2009.10.13

^{注4} 編集部注：報告書の図1の縦軸の単位は “million of dollars(\$)”であるが、参考文献から “billions of dollars(\$)” と修正して図化した。

^{注5} Energy Information Administration. “Energy Consumption by Sector, 1949-2008.” Downloaded from
<http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/txt/stb0201a.xls> アクセス 2009.10.13

^{注6} McKinsey & Company. “Unlocking Energy Efficiency in the U.S. Economy.”
http://www.mckinsey.com/client-service/electricpower-natural-gas/downloads/US_energy_efficiency_full_report.pdf, page 75 アクセス 2009.8.3

^{注7} 編集部注：British thermal unit（1 pound の水の温度を 1° F 上昇させるに要する熱量；1 Btu=約 0.251996 kilo-calorie）

産業セクターのエネルギー強度（GDP 単位当たり、あるいは生産量 1 単位当たりのエネルギー消費量）を低減することはエネルギー安全保障面の改善と企業のためのコストを削減するだけでなく、化石燃料の消費を削減し二酸化炭素の排出削減に寄与する。

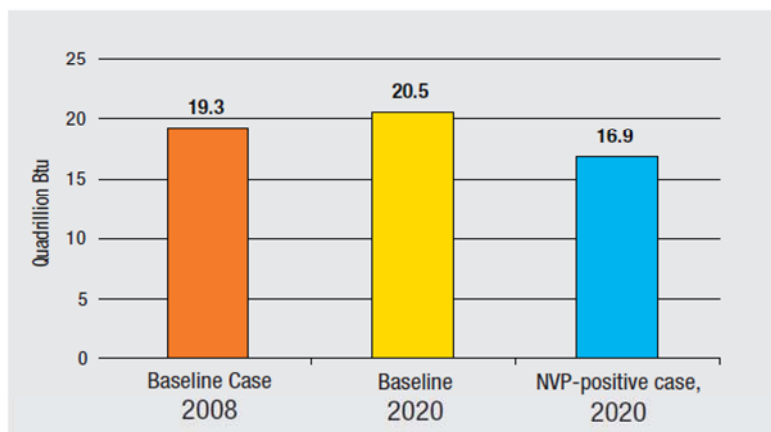


図2 米国の産業用最終消費量実績と将来予測

Note: "NPV-positive" includes direct energy, operating, and maintenance cost savings

現在、米国の産業セクターからの二酸化炭素排出量は、(DOE の) エネルギー情報局 (EIA : Energy Information Administration) によると (図 3^{注8} に示す)、今後 20 年間でおよそ 2,500 万トン増加することが予測されている。この増加とそれに伴うコストは、エネルギー効率化のための産業技術とその適用を振興することによって軽減出来る。

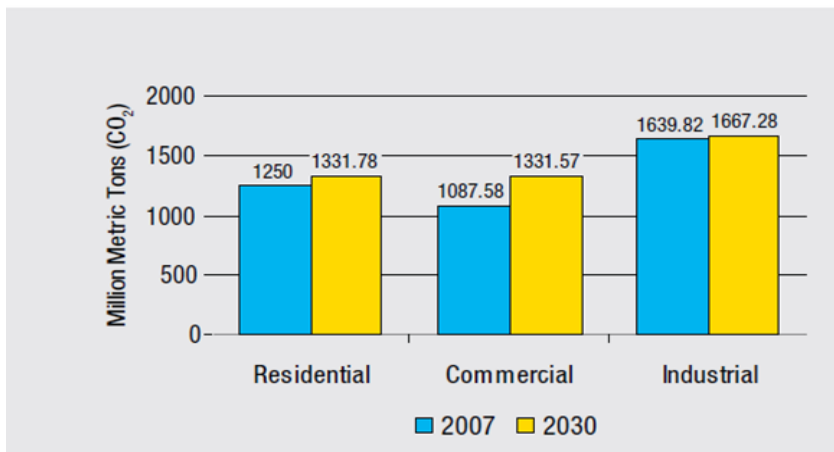


図 3: 二酸化炭素排出量(2007年実績と2030年予測;セクター別)

Source: http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/excel/figure81_data.xls^{注6}

産業のエネルギー効率を改善することによりエネルギーと環境面での受益があること

^{注8} Energy Information Administration. Annual Energy Outlook 2009, Figure 81 data. Source: http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/excel/figure81_data.xls アクセス 2009.8.3

に加えて、エネルギー効率化技術の採用とその実行のための明確な投資対効果検討書も存在する。2004年の米国商務省の報告書によると、このエネルギーコストが米国製造業の競争力を損なう主要要素と認識されている^{注9}。エネルギー消費は金を浪費する：つまりエネルギーを節約することは操業コストを低減し、設備や雇用に再投資するために使用することの出来る資本を増加させる。国際エネルギー機関(IEA: International Energy Agency)では、エネルギー効率化に1ドルの投資をすれば、エネルギー供給のために必要な投資を2ドル以上なくすことが出来ると見ている^{注10}。製造業はまた、消費するエネルギーの総量を減らすことにより、変動し上昇するエネルギーコストから自らを守るメリットがある。

産業界はエネルギー効率化を進めざるを得ない理由があるにもかかわらず、その改善のための投資はなされないままになっている。製造業者がエネルギー削減を促進する投資が容易にできないのには、いろいろ理由があるが、その多くは、実行するために必要な技術や人材、あるいは、ノウハウに関する情報が欠如しているためである。マッキンゼー・アンド・カンパニーによると、その解決のための重要な鍵は、以下に示すエネルギー効率化の実施に際する障害を克服することにある、とみている。

- エネルギーの評価とその訓練のためのツール
- 金銭的インセンティブ
- エネルギー管理の奨励
- エネルギー効率化目標の協定、あるいは、設備標準の確立^{注11}

Save Energy Now State and Utility Partnerships プログラムは、上述した解決策の全てを提供するだけでなく、これらの解決策の入手を促進させることにより、産業界における効率化の実施のための促進剤(触媒)としての役割を果たす。

B. 産業技術プログラム

産業技術プログラム(ITP: Industrial Technologies Program)は、国の最も大きなエネルギー消費セクターにおいて、エネルギー効率化を先導する政府のプログラムである。ITPは、産業界の提携先とともに実施し、地域的および世界的な競争力を維持しながら、産業界がエネルギーの消費と二酸化炭素の排出を削減するのを可能とするための革新的な技術の研究、開発、実証、および、展開を支援するものである^{注12}。ITPの中心をなすプログラムのゴールは、産業部門のエネルギー強度を10年で25%低減する(25 in 10)ことであ

^{注9} U.S. Department of Commerce. "Manufacturing in America: A Comprehensive Strategy to Address the Challenges to U.S. Manufacturers," January 2004. 出所:
http://www.commerce.gov/opa/press/Secretary_Evans/2004_Releases/Manufacturing%20Report/DOC_MFG_Report_Complete.pdf. Accessed on August 5, 2009.

^{注10} International Energy Agency. "World Energy Outlook 2006, Summary and Conclusions."
<http://www.iea.org/Textbase/npsum/WE02006SUM.pdf>. アクセス 2009.10.13

^{注11} McKinsey & Company. "Unlocking Energy Efficiency in the U.S. Economy."
http://www.mckinsey.com/client-service/electric-power-natural-gas/downloads/US_energy_efficiency_full_report.pdf. アクセス 2009.10.13

^{注12} DOE-EERE Industrial Technologies Program. "About the Program, Mission and Goals." Source:
<http://www1.eere.energy.gov/industry/about/goals.html> 最終アクセス 2009.10.13

る。これにより、エネルギーとお金が節約でき、生産性を増加させ、かつ、環境インパクトを減少させる。

10年で25%の削減（*25 in 10*）を達成するためのITPの3つのパートの戦略を以下に示す。

- 新技術の研究、開発、実証、および、その展開
- エネルギーサービスを行き渡らすこと
- 提携を通じてエネルギー効率の文化を創り上げること

1) エネルギーと炭素放出強度を低減する技術の研究、開発、実証、およびその展開：^{注13}

産業に特化した研究開発：ITPは160の新しい産業効率化技術の実用化を援助し成功させてきた^{注14}。ITPはまた、有益な技術開発情報ルートを維持するためにコストをシェアする機会を提供している。ITPは、産業エネルギー消費の約3/4の割合を占める、以下に示す産業に焦点を当てて活動している^{注15}：

- アルミニウム
- 化学
- 林産業
- ガラス
- 金属の casting
- 鋳業
- 石油精製
- 鉄鋼

産業界横断的研究開発：ITPはまた、多くの産業界にわたる、分野横断的な適用が可能な技術やツールを開発するための活動もしている。分野横断的な技術を以下に示す。

- 燃焼技術
- 分散型エネルギー技術
- エネルギー集約技術
- ナノ製造技術
- センサーと自動化技術



^{注13} DOE-EERE Industrial Technologies Program. “Mission and Goals.”

<http://www1.eere.energy.gov/industry/about/goals.html> 最終アクセス 2008.11.19

^{注14} DOE-EERE Industrial Technologies Program. “Technologies.” 出所:

<http://www1.eere.energy.gov/industry/technologies/> 最終アクセス 2009.7.9

^{注15} DOE-EERE Industrial Technologies Program. “Industrial Technologies Program – Program Areas.”

ダウンロード； http://www1.eere.energy.gov/industry/program_areas/index.html アクセス 2009.5.18

- 燃料と原料のフレキシ化技術
- 将来の工業材料技術

2) 技術の伝達および技術とマネジメントのベスト・プラクティスへのアクセス :

エネルギー・アセスメント(評価) : ITP は、産業界がコスト効果のある省エネルギーの選択肢を見いだし分析することへの援助をもくろんでいる。2006 年以来、ITP では 2,300 件以上の全サイズの設備の評価を実施してきた^{注 16}。「Save Energy Now」のイニシアティブにより、ITP では省エネルギー評価 (ESAs : Energy Savings Assessments) を提供している。つまり、圧縮空気、モーターや加熱処理のような具体的なエネルギー消費システムに焦点を絞り、大企業に対する 3 日間のエネルギーの無償審査を実施している。中小企業の評価は、全米の 26 大学に配備されている ITP がスポンサーになっている産業査定センター (IACs : Industrial Assessment Centers) により提供されている。これらの評価は、様々なエネルギー消費設備やプロセスの効率性の改善のためのリコメンドを産業設備に提供している。

ツール(手法)とその公表 : ITP は、無償で利用できる様々なテーマに特有のツールや公表資料を提供することにより米国企業や労働者に自信を与える活動している。これらのツールには以下のものがある。ベストプラクティスの情報誌やファクト・シート (あるテーマや商品などの情報を、図表や統計資料などを用い、読みやすく簡潔にまとめた文書) ; 天然ガスや電気のユーザーのためのツール ; 会社の重役、工場長や技術者のためのツール ; および、スチーム、加熱処理、モーター、ポンプ、ファンや圧縮空気のような特定システム用のソフト (運用) ツール。ITP はまた、ケース・スタディー、原典、マニュアル、その他の文書やニュースを出版しており、投資効果検討書や産業効率化に関するエネルギー・マネジメントの便益を説明している。

トレーニング : ITP で教育された資格を有する専門家は、設備のエネルギー効率を最適化しエネルギー効率を改善する活動を援助することが出来る。ITP はまた、ITP のソフトツールに関する習得をふくめて、システムや設備構成部品に特化したトレーニングを一般人に提供している。トレーニングや評価に関する情報、およびその他のツールの中にはウェブ放送を通じて提供されるものもある。つまり、ITP が産業界、公益事業者、州、および、他のステーク・ホルダーへの訓練を、出張やそれに関連する費用なしで行うことを可能とする、双方向のオンラインツールを通じて提供される。最近、ITP はそれぞれの州、公益事業体あるいは会社で、トレーニングセッションを開催するオプションを、提携先に提供している。そのため、ITP は効率化の情報、トレーニングやその成果を提供するための専門家をアレンジし、その地域へ派遣しようとしている。

^{注 16} DOE-EERE Industrial Technologies Program. "Save Energy Now Results." ダウンロード ; <http://apps1.eere.energy.gov/industry/saveenergynow/partners/results.cfm> アクセス 2009.5.18

3) エネルギー管理と炭素排出マネジメントの価値に関する企業風土^{注17}

戦略的な提携関係：ITP は米国産業界、大学、州、公益事業体や非営利団体とともに、エネルギー効率化ツール、技術および実施を実証し、開発し、そして展開する役割を果たしている。ITP はどのように企業のエネルギー・マネジメント戦略を成功裏に築きあげるかに関する情報を提供している、その中には、ステーク・ホルダーが経済や環境への産業のインパクトを認識することを援助するための、トレンドや情報を伝達する研究や分析も含まれている。ITP はまた、産業界が利用可能なリソースのデータベースを作ってきた。このタイプの支援や提携により、産業界が連邦政府や州の、既存および新しい目標や命令に対処するのをサポートしている。

この業務により、ITP はまた、次世代のエンジニア、エネルギー管理者や、関連の効率化の専門家の育成をサポートしている。ITP は地方大学や国立研究所との提携をはかり、評価の実施、トレーニングの提供、および公衆の教育を実施してきた。

ITP では現在、より大規模な実施支援を含むように提供の範囲を広げており、また、外部の財政的、技術的な支援機会（組織、制度など）との関係も広げつつある。ITP はまた、そのパートナーに対して、リソースへのアクセスをさらに拡大することや、提携成果を認めることと引き替えに、効率の改善をコミットする技量を提供している。全国で催される地域のイベントは、ITP のパートナーシップに参加する機会、および ITP のリソースを用いたりステーク・ホルダーが共同で実施することの価値を推奨している。そのイベントでは、ステーク・ホルダー、ITP パートナーシップに参加する機会、および ITP や他のエネルギー効率化実行のためのリソースへのアクセス機会がもたらされる。



ITP の詳細は以下の URL で参照できる；<http://www.eere.energy.gov/industrial>

C. 提携の促進と展開

産業セクターは、わが国の経済的活力を確実にするうえで重要であり、また、国の最も大きなエネルギー消費セクターとして、連邦政府や州の気候やエネルギーの目標を達成する上で非常に重要な役割を持っている。ITP はパートナーシップを用いて、さらに多くの産業設備に対してエネルギー効率のリソースを広めている。2009 年、ITP はパートナーシップの促進と展開 (PD&D: Partnership Development & Deployment) チームを編成し、リソースの展開のためには主要な提携先が重要であることを認識した。PD&D チームは可能性のある提携先を見つけ、強固な関係を築き、そして既存および新しい提携先の編成を

^{注17} DOE-EERE Industrial Technologies Program. “Mission and Goals.”

<http://www1.eere.energy.gov/industry/about/goals.html> 最終アクセス 2009.11.8

最大化させて、革新的技術の展開とエネルギー管理の勧告の実行をリードする。The Save Energy Now State and Utility Partnerships プログラムは、PD&D 戦略と提携構築ツールとリソースを通じて実行されている。

The Save Energy Now State and Utility Partnerships プログラムは2008年度と2009年度に、各州に数10億ドルの資金を提供してきており、州がエネルギー効率化のプログラムや提供資金のエネルギー評価を実施するのをサポートしている。ITPは産業のエネルギー効率化に公共事業体を引き入れるための実行計画を作った。これは公共事業体をより良く訓練し援助できるためのカギとなる活動を特定するため“Utilities Working with Industry（公共事業体と産業界の共同事業）”ワークショップを実施する計画である。ITPはWeb上で開催されるセミナー、ケース・スタディーおよび市場と技術の分析を開拓して、これらの主要なステーク・ホルダーのニーズに対応した。これらの活動は、ITP提携先との生産性のある多様な契約をサポートするものであり、これにより次に示す対話を強化し：情報、ツールとリソースを普及し、および：知識の移転をし、産業界がエネルギー効率を改善するためにアクションをとらせるものである。

翻訳 NEDO（担当 総務企画部 小笠原一紀）

出典：

http://www1.eere.energy.gov/industry/newsandevents/news_detail.html?news_id=15571

【エネルギー】 EV 省エネ 再生可能エネルギー CCS シェールガス

米中・クリーンエネルギー共同声明

2009年11月17日、バラク・オバマ大統領と中国の胡錦濤国家主席は、クリーンエネルギーに関する米中二国間協力の強化を目的とする一連の政策を発表した。

1. 米中・クリーンエネルギー研究センター

両首脳は、米中クリーンエネルギー研究センターの設立を発表した。このセンターは、両国の科学者/エンジニアチームによるクリーンエネルギー技術の共同研究開発を促進するほか、広報機関としてそれぞれの国の研究者を支援する。同センターのコストは、両国間で平等に折半し、5年間で1億5千万ドル以上が国家および民間資金より支援されることになる。

第一優先される研究分野は、エネルギー効率化、クリーンコール（炭素回収・貯留を含む）、クリーン自動車である。同センター正式設立のための議定書は、北京に於いて、米国エネルギー庁長官 Steven Chu 氏、中国科学技術省 Wang Gang 氏、中国国家エネルギー局・長官代理 Zhang Guobao 氏により署名が行われた。

詳細は Web サイトを参照^{注1}。

2. 米中・電気自動車イニシアティブ

両首脳は、米中電気自動車イニシアティブの立ち上げを発表した。このイニシアティブでは、2009年9月に初めて開催された米中電気自動車フォーラムを基に、基準の共同開発、十数以上の都市における実証プロジェクト、技術ロードマップの策定、市民啓蒙プロジェクト等が行われる。両首脳は、原油依存度や温暖化ガス(GHG)排出量の低減、経済成長促進のために、電気自動車の普及をより早急に進めることは、両国が共有する利益であると強調した。

詳細は Web サイトを参照^{注2}。

3. 米中・省エネアクションプラン

両首脳は、新規の米中・省エネアクションプランの立ち上げを発表した。この新プランの下、両国が協力し、建築物、産業施設、家電製品のエネルギー効率の改善を進める。両国の高官は相互協力し、また民間とも協力して、省エネ建築の基準や評価システムの策定、産業エネルギー効率のベンチマークの策定、建築物検査官と産業施設の省エネ監査官の養成、省エネ家電製品の試験方法と性能測定基準の調整、省エネ・ラベリングシステムでの最良事例（ベストプラクティス）を共有し、新規の米中・省

^{注1} http://www.energy.gov/news2009/documents2009/U.S.-China_Fact_Sheet_CERC.pdf

^{注2} http://www.energy.gov/news2009/documents2009/US-China_Fact_Sheet_Electric_Vehicles.pdf

エネフォーラムを、両国持ち回りで毎年開催する。詳細は Web サイトを参照^{注3}。

4. 米中・再生可能エネルギーパートナーシップ

両首脳は、米中・再生可能エネルギー米中パートナーシップを新たに立ち上げることを発表した。このパートナーシップの下、米中は、両国における再生可能エネルギーの広範活用に向けたロードマップを作成する。このパートナーシップにより、両国の州や地方に技術/分析要員を配置して再生可能エネルギー活用を支援し、州同士、地方同士のパートナーシップを促進して、経験や最良事例の共有を図る。新設される先進グリッド作業部会は、米中の政策決定機関、規制機関、産業界リーダー、市民社会を結集し、両国のグリッド近代化戦略を進める。新設される米中・再生可能エネルギーフォーラムは、毎年持ち回りで開催されることになる。

詳細は Web サイトを参照^{注4}。

5. 21 世紀の石炭

両首脳は、大規模な炭素回収貯留(CCS)実証プロジェクト等の、よりクリーンな石炭の利用について協力を進めることを誓った。新設される米中クリーンエネルギー研究センターを通じて、両国は、クリーンコールおよび CCS 技術の開発にあたり、米中両国の科学者やエンジニアを結集したチームを作り、技術協力プログラムを立ち上げる。両政府はまた、クリーンコールや CCS ソリューションを進めるにあたり、産業界、大学や研究機関、市民社会を積極的に引き込んでいる。両首脳は、以下を歓迎した。

- (1) 米国貿易開発機関(The U.S. Trade and Development Agency)が、The China Power Engineering Consulting Group Corporation に対し助成金を供与。これにより、米国の技術を使用した中国での石炭ガス化複合発電所(IGCC)設置の実現可能性の研究を支援する。
- (2) ミズーリ州の Peabody Energy 社が GreenGen(排出量ほぼゼロの石炭火力発電所開発を目的とする、中国大手エネルギー会社数社によるプロジェクト)への参加に合意。
- (3) IGCC やその他クリーンコールテクノロジーの開発活用に関する協力を目的とする GE 社、Shenhua 社間の協定。
- (4) 中国、重慶の炭鉱で採取されたメタンを使用した電力の生産、温室効果ガス排出量の削減を目的とした AES 社、Songzao Coal and Electric Company 社間の協定
詳細は Web サイトを参照^{注5}。

^{注3} http://www.energy.gov/news2009/documents2009/US-China_Fact_Sheet_Efficiency_Action_Plan.pdf

^{注4} http://www.energy.gov/news2009/documents2009/US-China_Fact_Sheet_Renewable_Energy.pdf

^{注5} http://www.energy.gov/news2009/documents2009/US-China_Fact_Sheet_Coal.pdf

6. シェールガス・イニシアティブ

両首脳は、米中シェールガス^{注6}資源イニシアティブを新たに立ち上げることを発表した。両国は、同イニシアティブの下、米国内で得た経験を活かして中国のシェールガス潜在性を評価し、シェールガス資源の環境持続的な開発を推進し、中国内のシェールガス資源開発を加速するために共同で技術調査を行い、米中石油ガス業界フォーラム、視察旅行、ワークショップ等を通して、中国内でのシェールガス投資を促進する。

詳細は Web サイトを参照^{注7}。

7. 米中・エネルギー協力プログラム

両首脳は、米中エネルギー協力プログラムを設置することを発表した。同プログラムは、中国で計画されている多岐にわたるクリーンエネルギープロジェクト開発事業が、両国の利益となるよう、民間資源にてこ入れをするものであり、22 を超える国がこのプログラムの設立メンバーとなっている。このエネルギー協力プログラム(ECP: Energy Corporation Program)には、再生可能エネルギー、スマートグリッド、クリーン輸送、グリーン建築、クリーンコール、熱電併給(CHP)、エネルギー効率化に関する共同研究が含まれる。

翻訳：NEDO（担当 総務企画部 原田 玲子）

出典：

“U.S.-China Clean Energy Announcement”

<http://www.energy.gov/news2009/8292.htm>

^{注6} シェールガス：頁岩層から産出される天然ガス

^{注7} http://www.energy.gov/news2009/documents2009/US-China_Fact_Sheet_Shale_Gas.pdf

【エネルギー】 炭素繊維 電池 ゼロエミッション建築技術

米エネルギー省、国立研究所に 1 億 400 万ドル以上の支援 クリーンエネルギーの成長を支える 8 プロジェクト

2009 年 11 月 18 日：サンディア国立研究所を訪問していた米エネルギー省副長官ダニエル・ポネマン氏は、米国経済再生・再投資法に基づき、同省傘下の 7 ヶ所の研究所における 8 つの新プロジェクトに対し、研究・実験施設設立のため 1 億 470 万ドルを提供すると発表した。これらのプロジェクトは、戦略的国家利益であるクリーンエネルギー、エネルギー効率化技術の開発・進化に寄与する。とりわけ、①炭素繊維の生産コスト削減と車両重量の軽減化、②電気自動車用電池の効率向上と低コスト化、③ゼロエミッション建築技術の開発、に資金が供与される。この資金援助は、二酸化炭素排出の削減を行いつつ、経済構造の転換と雇用の創出を実現する技術を支援することを目的とした、エネルギー省国立研究所の知的・技術的資源に大きな影響を与えることとなる。

ポネマン副長官は「国立研究所は国の宝であり、世界最先端の研究者の活動の場である」とし、「国立研究所はその設立以来、エネルギー問題や気候変動など世界の課題に取り組んできた。彼らの革新性や創意はアメリカの製造業に活力を与え、雇用創出を加速し、クリーンエネルギー経済の礎となるだろう」と述べた。

本日発表されたプロジェクトは 3 つの分野から選出された。

炭素繊維生産・加工技術

炭素繊維は軽量かつ高強度の素材であり、自動車・風力業界に大変革を起こす可能性を秘めている。低コストの炭素繊維は、鋼鉄製の車体と同等の強度と安全性を維持しながら車両の重量を軽減、つまりは燃費の向上の実現にとって極めて重要である。

先進電池プロトタイプの試作と試験施設

エネルギー貯蔵技術、とりわけ電池と電気動力部品は高いレベルの高燃費自動車開発に大変重要であり、2015 年までに 100 万台のプラグイン電気自動車の路上走行を目指すオバマ政権にとり、必要不可欠な技術である。

総合的建築設計システムの開発

建築物からの二酸化炭素排出量は米国の総排出量の 40%をも占める。エネルギー消費ゼロ建物（年間消費量と同量のエネルギーを、高い効率性と現場での再生可能エネルギーによって生産）は、排出減への取り組み・実現にあたり鍵となる。新研究施設は、コスト増加を抑えたエネルギー消費ゼロ建物建築技術と設計手法を開発する。

エネルギー省は全国の国立研究所から応募を募り、入念な技術審査を行った。

本日、資金供与先に選出された研究所は以下の通りである。

オークリッジ国立研究所（オークリッジ、テネシー州）

3,470 万ドルが炭素繊維の生産・加工を目的とする炭素繊維技術センター設立費用として与えられる。このセンターは現状 1 ポンド（453 グラム）あたり 10～20 ドルかかっている生産コストを 5 ドル以下に抑えるための革新的な生産プロセスと代替原料を研究する。

オークリッジ国立研究所（オークリッジ、テネシー州）

商業ビルの実地調査プラットフォームとなる総合的エネルギー消費ゼロ建物研究所の設立・運営に、2,020 万ドルが供与される。

ローレンス・バークレー国立研究所（バークレー、カリフォルニア州）

エネルギー消費ゼロ建物の技術的課題に取り組むにあたり、鍵となる試験設備を有する「国立エネルギーゼロ建物研究ユーザ施設」の設立・運営に、1,590 万ドルが与えられる。

国立エネルギー技術研究所（モーガントウン、西バージニア州）

1,390 万ドルが、広範囲にわたる住宅・商業設備の検証試験を年間 17,000 回近く実施するパフォーマンス検証研究所（広さ 35,000 平方フィート（3251.5 平方メートル））の設立のために供与される。

アルゴンヌ国立研究所（アルゴンヌ、イリノイ州）

電池プロトタイプセル試作施設、原料生産スケールアップ施設、実験分析施設といった、電池研究開発に関する 3 施設の設立に 880 万ドルが与えられる。

アイダホ国立研究所（アイダホ・フォールズ、アイダホ州）

高エネルギー電池実験施設の設立に 500 万ドルが供与される。この施設は、実社会が求める性能要件を満たす低コスト電池の開発を可能とする。

サンディア国立研究所（アルバカーキ、ニューメキシコ州）

電池過酷試験^{注1}研究所の変更・強化費用として 420 万ドルが与えられる。過酷試験は過充電、過放電、ショート、火・熱への暴露等が含まれる。研究施設の改良は、実社会からの性能要件を満たす低コスト電池の開発を実現するために大変重要となる。

国立再生可能エネルギー研究所（ゴールドデン、コロラド州）

電池の熱・耐久性試験施設の設立に 200 万ドルが与えられる。この試験施設は低コスト

^{注1} 様々な使用条件を想定し、現実にはあり得ないような過酷な試験条件によって製品の耐久信頼性を確認する試験。

でありつつも頑丈な電池の、熱管理システムとバッテリー設計を開発する。

翻訳：NEDO（担当 総務企画部 草野 裕子）

出典：

“Department of Energy Announces More Than \$104 Million for National Laboratory Facilities”

<http://www.energy.gov/news2009/8297.htm>

【エネルギー】スマートグリッド

スマートグリッド実証・エネルギー貯蔵研究へ 6 億 2 千万ドル (米国)
米国経済再生・再投資法により、エネルギー貯蔵、雇用創出を促進

2009 年 11 月 24 日午後、オハイオ州コロンバスでのイベントで、チュー米エネルギー省長官は、より洗練され、効率性に優れた、回復力の高い電力網を可能にする先進スマートグリッド技術、および統合システムを実証するため、エネルギー省が 6 億 2 千万ドルを拠出することを発表した。

これらの実証プロジェクト 32 件には、大規模なエネルギー貯蔵、スマートメータ、配電・送電システムのモニタリング機器、その他一連のスマートテクノロジーが含まれ、これらは、より広範に統合スマートグリッドシステムを配備するためのモデルとしての役割を果たすことになる。この米国経済再生・再投資法による資金に、民間セクターからの資金 10 億ドルが加わり、米国全体で総額 16 億ドル以上のスマートグリッド・プロジェクトが支援される。

チュー長官はまた、スマートグリッドへの投資が米国消費者にとって何を意味するのかを説明した動画を YouTube 上に公開した^{注1}。

「これらの実証プロジェクトにより、エネルギー目標達成にとって不可欠なモダングリッドへの道筋が定められ、スマートグリッドにとっては何が最も効果的で最良の結果をもたらすのかに関して、我々の知識や理解が深まることになるでしょう。この資金が活用されることで、スマートグリッド技術がどのように全体システムに適用され、消費者の省エネを推進し、エネルギー効率を向上させ、風力エネルギーや太陽エネルギーのような再生可能エネルギー源の普及を促進させるかが明らかになります。」チュー長官は、このように述べた。

これらの取り組みにより、省エネやコスト削減など、スマートグリッドの利益とコスト効率に関する非常に重要なデータが提供される。米国電力中央研究所(Electric Power Research Institute: EPRI)の分析によれば、スマートグリッド技術の導入により、2030 年までに電力使用量が 4%以上削減されるものと推定されている。これは、全国の企業および消費者で 204 億ドル、オハイオ州のみで 7 億ドル、または、オハイオ州の住民一人あたりで 61 ドルの光熱費が削減されることを意味している。

今日発表された実証プロジェクトにより、新スマートテクノロジーと事業の実現性を検証し、完全に統合されたスマートグリッドシステムが、いかに容易に適応でき、全米に

注1 本記事の末尾に記した出典を参照されたい。

普及できるかが明らかになるだろう。応募者によれば、この投資により何千件もの新規雇用の機会が創出されるという。これには、製造業労働者、エンジニア、電気工、設備敷設業者、IT システム設計者、サイバーセキュリティ・スペシャリスト、ビジネスアナリスト、パワーシステム(電力系統)アナリスト等が含まれる。

同資金は、二つの分野に分割される。

一つめのグループには、受賞した 16 件分の総額 4 億 3 千 500 万ドルが充当され、21 州における完全に統合された地域版スマートグリッド実証 試験(ほぼ 1 億人の消費者を顧客ベースに持つ 50 を超える公共施設と電気事業組織に相当)を支援する。このプロジェクトには、以下が含まれる。

- 1) グリッドの様々な構成要素がリアルタイムに相互に「トーク(通信)」できるようにする整備された通信技術。
- 2) 障害および停電防止策として、グリッドオペレータが電気の流れをモニター、制御できるようにする監視及び制御装置。
- 3) 消費者が自分で省エネを実施し、お金を節約できるようにするスマートメータおよびホームネットワークシステム。
- 4) エネルギー貯蔵オプション。
- 5) 電力グリッドに統合可能な分散型/再生可能エネルギー資源。

また、2 つめのグループでは、総額 1 億 8 千 5 百万ドルにのぼる追加受賞 16 件分の資金が、実用規模の省エネプロジェクトに充当され、これにより、グリッドの信頼性と効率性が高まり、また、新しい発電所の設置ニーズが減ることになる。

改善された省エネ技術により、風力発電システムや太陽光発電システムのような再生可能エネルギー資源の電力網への統合が拡大し、周波数調整およびピーク電力の管理が改善される。採択されたプロジェクトには、先進電池システム(フロー電池^{注2}等)、フライホイール、圧縮空気エネルギーシステムなどがある。

全採択プロジェクトの一覧は、ウェブページを参照^{注3}。

翻訳：NEDO (担当 総務企画部 原田 玲子)

出典：

“Secretary Chu Announces \$620 Million for Smart Grid Demonstration and Energy Storage Projects”

<http://www.energy.gov/news2009/8305.htm>

^{注2} 正式名はレドックスフロー電池で、NAS 電池とともに電力貯蔵用に利用される。特徴は、①繰り返し充放電に強い、②長寿命 (15 年)、③高速・高出力応答が可能。このため、風力や太陽光発電などの電源の変動抑制に利用される。

^{注3} http://www.energy.gov/news2009/documents2009/SG_Demo_Project_List_11.24.09.pdf