

FiNEST アルゴリズムによる鋼板自動ネスティング（第2報）

— 材料発注用ネスティングへの拡張 —

Automatic Nesting of Ship Hulls Using the FiNEST Algorithm (2nd Report)

— Application to Plate Size Determination —

長 島 智 樹 株式会社アイ・イー・エム エンジニアリング部
 松 岡 伸 一 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド 船舶海洋設計部
 俵 裕 美 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド 船舶海洋設計部
 丹 羽 太 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド 船舶海洋設計部 課長代理
 岡 田 哲 男 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド 基本設計部 課長

既報で紹介し実船適用を重ねてきた確率論的手法に基づく新しい自動ネスティングシステム FiNEST は、決定済みの発注鋼板寸法内に部品を歩留りよく配置するシステムであった。今回これを、与えられた部品から最適な発注鋼板寸法を決定する目的で使用できるように拡張した。その際、組合せ数の増大に伴う探索時間増大に対処するため、遺伝的アルゴリズムを導入・適用した。本稿では、実現手法の概要を述べ、船舶における実際のブロックの鋼板寸法を本手法によって求めた実例を通して、本手法の有効性を説明する。

The FiNEST system has been applied to actual ship hulls. Using this system, structure pieces were arranged within the rectangular steel plates with predetermined size. The expansion of FiNEST is described for the purpose of plate size determination. The genetic algorithm was newly introduced to cope with elapse time increase in accordance with the increase in combinations of piece arrangement patterns. In this paper, the algorithm for plate size determination is summarized, and the usefulness of this method is explained through application to an actual ship hull structure.

1. 緒 言

既報⁽¹⁾では確率論的手法による自動ネスティング手法として、新たに考案した FiNEST アルゴリズムおよびその実船適用例を紹介した。この適用例は、決定済みの発注鋼板寸法内に与えられた部品を歩留りよく配置するシステムであった。これを実船の詳細ネスティング作業に適用してきた結果、ネスティング作業時間の大幅削減や歩留りの向上といった成果が得られている。

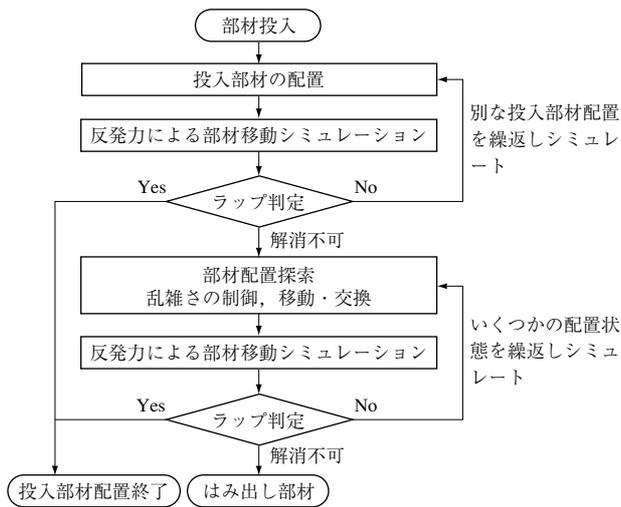
しかし、鋼板の寸法が決定済みであるため、余裕をもって購入しすぎた場合、それ以上投入配置する部材がなくて鋼板が余るなど、歩留りの向上に限度がある。そこで、今回このシステムを、与えられた部品から最適な発注鋼板寸法を決定する目的で使用できるように拡張した。その際、組合せ数の増大に伴う探索時間増大の問題に対処するため、遺伝的アルゴリズムを導入・適用した。

本稿では実現手法の概要を述べ、船舶における実際のブロックの鋼板寸法を本手法によって求めた実例を通して、本手法の有効性を説明する。

2. 取材 FiNEST アルゴリズム

鋼板上に同じ板厚・規格（降伏応力、鋼種、塗装）の部材を適当に配置し、その際、発生した部材間のラップや鋼板からはみ出した部分に、反発力を発生させて部材を移動させる。このような部材移動を繰り返すことで、部材間のラップや鋼板からはみ出しを解消することが期待できる。FiNEST アルゴリズムでは、このような部材移動シミュレーションを効率的に行うため、部材温度なるパラメータを導入し、反発力を制御している。部材移動シミュレーションの結果、ラップが解消されない場合、部材温度によって部材を大幅に移動したり、部材間の配置交換をランダムに行ったりして、異なる部材配置状態での部材移動シミュレーションを試す。FiNEST アルゴリズムの詳細は既報⁽¹⁾に譲るが、FiNEST アルゴリズム概要フローチャートを第1図に示す。

さらに、本稿では通常ブロックで使用する数百～数千の部材を適当な鋼板に割り振り、適切な鋼板枚数と寸法を決定する手法について説明する。以上のような発注材料寸法



第 1 図 FiNEST アルゴリズム概要フローチャート
Fig. 1 Flowchart of the FiNEST algorithm

を決定する作業を以後、取材と呼び、そのために拡張した FiNEST を取材 FiNEST と呼ぶ。

2.1 取材 FiNEST アルゴリズム概要

取材ネスティングでは設備などによる鋼板寸法の制限を除き、鋼板枚数、寸法を自由に決定できるため、ネスティングの自由度は飛躍的に増大する。無限に近いネスティングプランから効率的に適切なネスティングプランを探索するために、FiNEST アルゴリズムに組合せ最適化問題に有効な遺伝的アルゴリズム⁽²⁾を導入した。遺伝的アルゴリズムを適用した取材 FiNEST アルゴリズム概要フローチャートを第 2 図に示す。

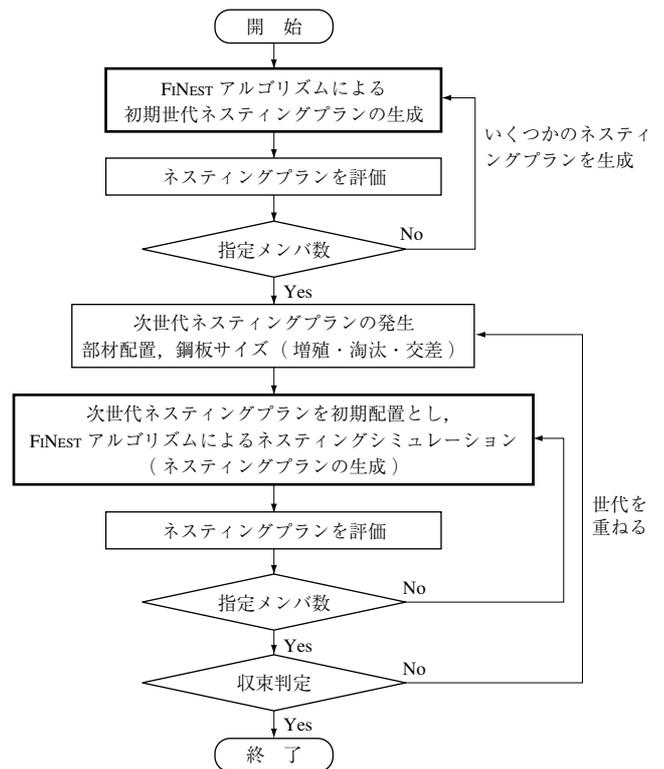
2.2 遺伝的アルゴリズムの導入

遺伝的アルゴリズムでは最適化問題を遺伝子（パラメタ）列で表現される個体として定義する。始めに適当にいくつかの個体を生成し評価する。各個体の評価値によって増殖・淘汰・交差（遺伝子の交換）・突然変異（遺伝子の変更）といった操作を行い、次の世代となる個体を発生させ、評価する。このような操作を行い、世代を重ねることで各個体の多様性を保ち、最適なパラメタを探索することができる。

本問題では、鋼板寸法、部材ごとに配置情報（① 配置する・しない ② 配置座標と角度 ③ 表・裏 ④ 有効なペアリング対象部材の有無）を遺伝子とし、ネスティングプランを個体として定義した。また、ネスティングプランの評価を(1)式に示すコスト評価式とした。

$$C_A (A_m + A_o / r) + C_n \dots\dots\dots (1)$$

- A_m : 鋼板面積
- A_o : 未ネスティング部材総面積



(注) □ : FiNEST アルゴリズム

第 2 図 取材 FiNEST アルゴリズム概要フローチャート
Fig. 2 Flowchart of plate size determination FiNEST algorithm

- r : 推定歩留り率（世代ごとのネスティングプラン平均歩留り率）
- C_A : 面積当たりの材料コスト
- C_n : 未ネスティング部材がある場合、別の鋼板を用意するために発生するコスト

2.2.1 初期世代ネスティングプランの生成

同じ板厚、規格の部材を選び、部材の寸法、面積などでネスティングを試す優先度の割り付けを行う。FiNEST アルゴリズムによって、優先度順に(2)式に示す確率で部材を追加し、左下詰めとなるようにネスティングを試す。ネスティングが可能な中から、最も評価値が良いネスティングプランを選び、いくつかのネスティングプランを生成する。

$$(A_{max} - A_i) / A_o \dots\dots\dots (2)$$

- A_{max} : 鋼板制限寸法面積
- A_i : ネスティング済みの部材総面積
- A_o : 未ネスティング部材の総面積

2.2.2 次世代ネスティングプランの発生

以下の手順で、次の世代となるネスティングプランをいくつか発生させる。

- (1) 増殖・淘汰
評価値が良いネスティングプランを増殖（複製）

し、評価値が悪いネスティングプランを淘汰（削除）する。

(2) 交差

評価値が良いネスティングプランとほかのネスティングプランのパラメタを適当に交換し、新たなネスティングプランを発生させる。

(3) 突然変異

適当な割合でネスティングされていない部材をネスティング対象として追加する。配置パラメタを変更、もしくは無効にする。

(4) 鋼板寸法

ネスティングプランの鋼板寸法が制限寸法未満の場合、適当に鋼板寸法を縮小し、世代を重ねるごとに徐々にネスティングの制限を厳しくする。

2.2.3 FiNEST アルゴリズムによる再ネスティング

個々のネスティングプラン（鋼板寸法、部材配置情報）に従って部材を追加し、FiNEST アルゴリズムによるネスティングを試す。ネスティングが可能な中から、最も評価値が良いネスティングプランを選ぶ。

2.2.4 収束判定

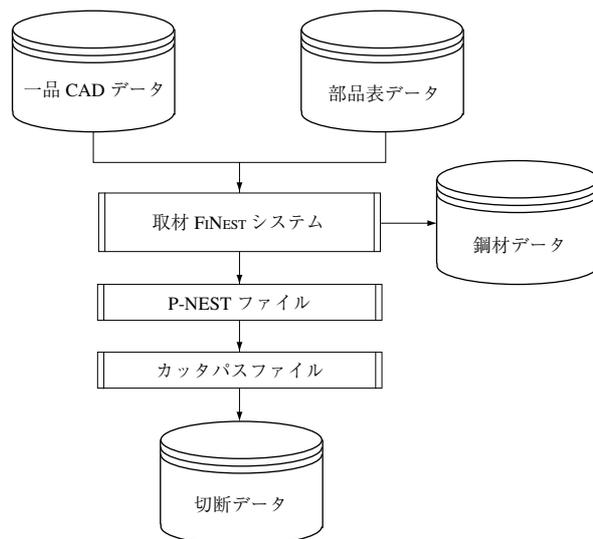
数世代にわたり評価値の向上が認められず、かつ、上位半分以上の評価値分散値が十分に少なくなるまで、2.2.2項および2.2.3項の世代を重ねる操作を行う。

3. 実船適用のための周辺システム

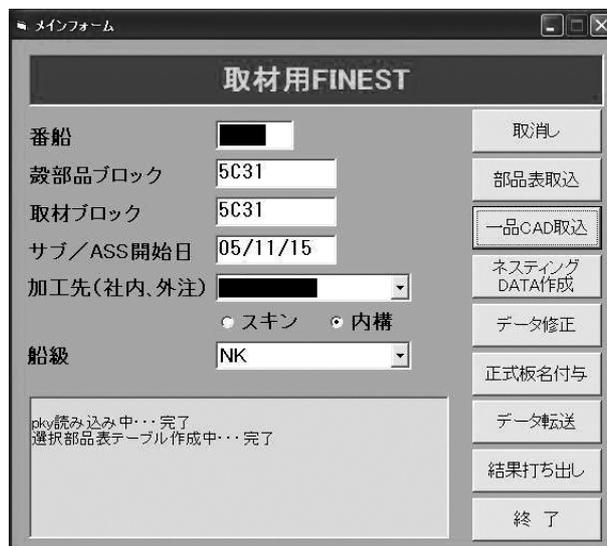
実船へ適用するための取材 FiNEST システム概要を第3図に示す。取材 FiNEST システムとは、部品表データと、一品 CAD データからネスティング対象部材を取り出し、自動でかみ合わせを行い、鋼板の発注サイズを決定するシステムである。

取材 FiNEST データ作成システムは部品表データと、一品 CAD データから、ネスティング対象部材を取り出し、取材 FiNEST システム用データを作成する。第4図に取材 FiNEST データ作成システムにおけるデータ作成メニュー画面を示す。本メニューには、①加工制限内で自動にかみ合わせを実行する機能 ②任意での板巾決定機能 ③強制的に同一板にネスティングを割り当てる指名手配機能 ④ユーザが効率的に実船適用していくための追加機能、が用意されている。第5図に取材 FiNEST データ作成システムにおけるパラメタファイル作成メニュー画面を示す。

P-NEST 変換システムは上記で作成したデータを P-NEST用のフォーマットに変換するシステムである。



第3図 取材 FiNEST システム概要
Fig. 3 Outline of FiNEST system for plate size determination



第4図 取材 FiNEST データ作成メニュー画面
Fig. 4 Data preparation menu of FiNEST for plate size determination



第5図 取材 FiNEST パラメタファイル作成メニュー画面
Fig. 5 Parameter file preparation menu of FiNEST for plate size determination

P-NEST とは、株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッドにおいて開発された対話型ネスティング用プログラムである。P-NEST システムは手動でネスティングの修正を行うことができ、カットパスを定義し NC データを作成する。取材 FiNEST データを P-NEST 変換することで、取材時においてネスティングデータを作成することができ、ネスティング作業時間の大幅な短縮にもつながる。

4. 取材 FiNEST 適用例

既報⁽¹⁾で挙げた 7 500 TEU 積み大型コンテナ船の機関室 4D32 ブロックを取材 FiNEST で実行した例について述べる。対象部品を部品数 410 の内構材とし、生成素材鋼板寸法最大値を幅 4 200 mm、長さ 15 000 mm と設定した。

4.1 取材 FiNEST 実行結果と結果考察

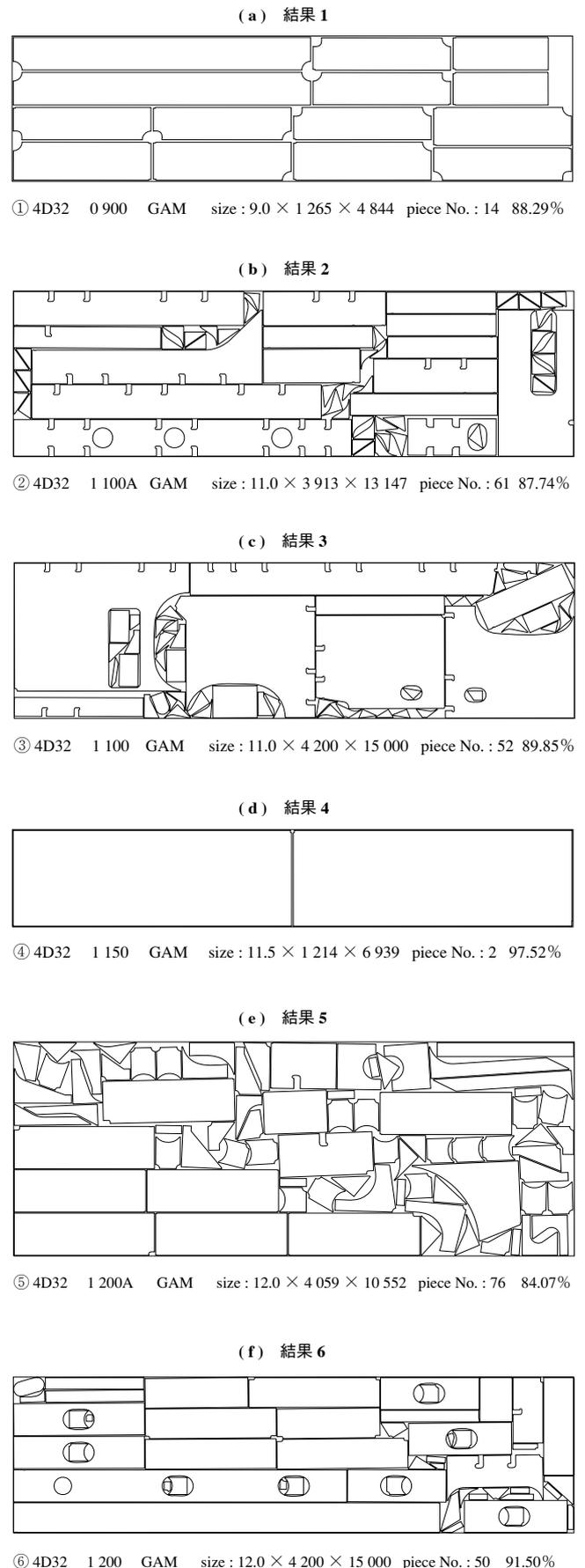
取材 FiNEST 全実行結果（素材鋼板枚数 16）を第 6 図に示す。第 6 図 - (c)、- (f)、- (l) は、生成素材鋼板寸法最大幅の 4 200 mm で生成されている。大物部品が存在する場合、手作業ではおおむねその最小値で板幅を決めるケースが多いが、今回の結果は最大幅を限りなく利用することで、全体の歩留り率も高く、鋼板枚数の削減にもつながっている。

- (b)、- (e)、- (k) の結果は、部分的にペアリング処理による配置となっている。既報⁽¹⁾の詳細 FiNEST の結果では、無作為に配置されていたネスティング状態をカットパスに適するよう運用面で修正することが課題であった。今回のペアリング配置は、カットパス最適化の一つの有効な手段となっている。

- (b)、- (c)、- (f)、- (h)、- (i)、- (k)、- (l) の結果は、孔に小物部品がネスティングされており、歩留りの向上に寄与している。取材 FiNEST では 2. 2. 1 項で述べた同じ板厚・規格の部材を選んでネスティングを試みる初期世代ネスティングプランの生成条件で実行した。この結果、異なる板厚・規格鋼板へのネスティングは行われておらず、図面指示された板厚・規格どおりのネスティングとなっている。

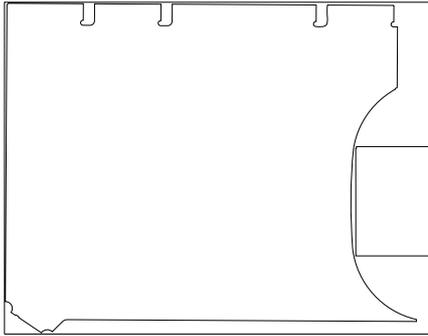
4.2 取材 FiNEST および詳細 FiNEST ネスティング実行結果の比較

第 1 表に、取材 FiNEST および詳細 FiNEST ネスティングによる板厚・規格別素材鋼板質量と歩留り率の対比を示す。素材鋼板質量は、原則結果どおりで算出している。板厚 19.0 mm で材質 G32A、板厚 30.0 mm で材質 GAS の素材鋼板については、発注最小寸法の幅 1 000 mm、長さ



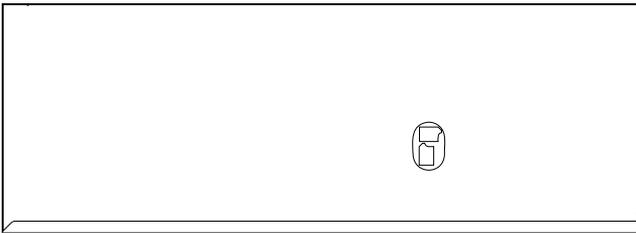
第 6 図 取材 FiNEST 全実行結果 - 1 (4D32)
Fig. 6 Results of FiNEST application for plate size determination - 1 (4D32)

(g) 結果 7



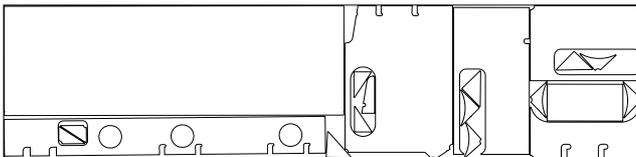
⑦ 4D32 1 202 G2A size : 12.0 × 3 621 × 4 614 piece No. : 2 86.84%

(h) 結果 8



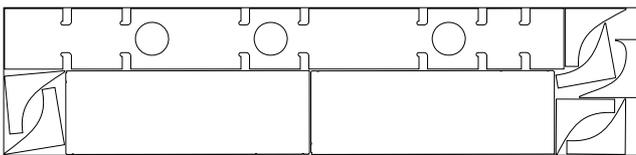
⑧ 4D32 1 300A GAS size : 13.0 × 2 719 × 7 502 piece No. : 3 93.37%

(i) 結果 9



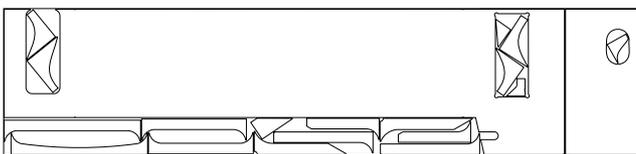
⑨ 4D32 1 300 GAS size : 13.0 × 3 621 × 14 847 piece No. : 20 87.02%

(j) 結果 10



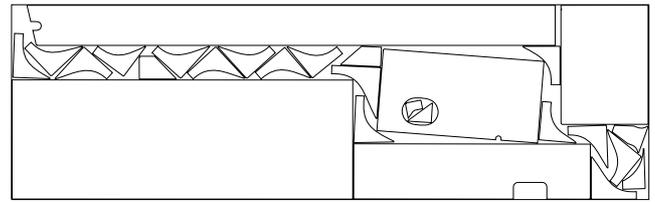
⑩ 4D32 1 400B GAS size : 14.0 × 2 107 × 9 021 piece No. : 10 84.85%

(k) 結果 11



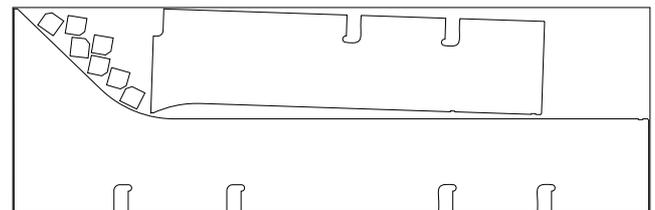
⑪ 4D32 1 400 GAS size : 14.0 × 3 472 × 14 992 piece No. : 20 88.27%

(l) 結果 12



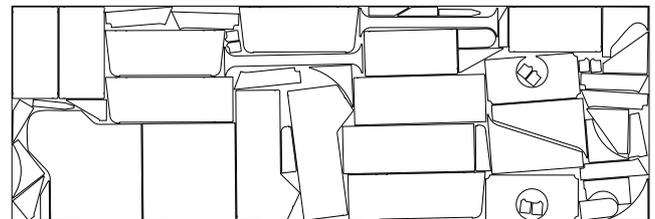
⑫ 4D32 1 400A GAS size : 14.0 × 4 200 × 13 626 piece No. : 27 89.04%

(m) 結果 13



⑬ 4D32 1 402 G2A size : 14.0 × 1 766 × 5 420 piece No. : 9 77.38%

(n) 結果 14



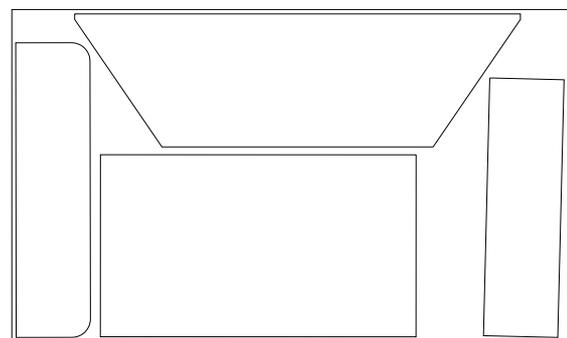
⑭ 4D32 1 600 GAS size : 16.0 × 4 141 × 12 157 piece No. : 57 86.09%

(o) 結果 15



⑮ 4D32 1 902 G2A size : 19.0 × 710 × 4 430 piece No. : 3 69.99%

(p) 結果 16



⑯ 4D32 3 000 GAS size : 30.0 × 901 × 1 499 piece No. : 4 79.28%

第 6 図 取材 FiNEST 全実行結果 - 2 (4D32)
Fig. 6 Results of FiNEST application for plate size determination - 2 (4D32)

第 1 表 板厚・規格別素材鋼板質量と歩留り率の対比 (4D32)
Table 1 Weight and scrap ratio comparison of each plate (4D32)

材 質	板 厚 (mm)	詳細ネスティング結果 ⁽¹⁾						取材 FiNEST			
		素材質量 (kg)	枚数	手作業ネスティング		詳細 FiNEST		素材質量 (kg)	枚数	正味質量 (kg)	歩留り率 (%)
				正味質量 (kg)	歩留り率 (%)	正味質量 (kg)	歩留り率 (%)				
GAM	9.0	438	1	382	87.2	382	87.3	433	1	382	88.2
GAM	11.0	8 798	3	7 361	83.7	7 723	87.8	9 882	2	8 785	88.9
GAM	11.5	2 283	1	1 976	86.6	1 838	80.5	760	1	742	97.5
GAM	12.0	7 321	2	6 406	87.5	6 486	88.6	9 969	2	8 822	88.5
G32A	12.0	2 420	1	2 040	84.3	2 214	91.5	1 574	1	1 367	86.8
GAS	13.0	8 677	3	7 238	83.4	7 516	86.6	7 568	2	6 718	88.8
GAS	14.0	15 509	4	13 226	85.3	13 286	85.7	14 099	3	12 422	88.1
G32A	14.0	1 220	1	906	74.3	828	67.9	1 052	1	814	77.4
GAS	16.0	6 455	2	5 275	81.7	5 158	79.9	6 323	1	5 443	86.1
G32A	19.0	684	1	328	48.0	328	48.0	661	1	328	49.6
GAS	30.0	707	1	252	35.7	252	35.7	707	1	252	35.7
総 合 値		54 512	20	45 390	83.3	46 011	84.4	53 028	16	46 075	86.9

3 000 mm を考慮して、前者の幅寸法を 1 000 mm に、後者の幅 × 長さ寸法をそれぞれ 1 000 × 3 000 mm に修正している。

従来の手作業によるラフカッティングプランの作成では、対象となる部品形状を 1 部材、1 部材、図面からトレースするいわゆる「ひらいたし作業」を行い、それらをかみ合わせることで鋼板サイズを決定していた。また、これらの作業では、作業時間の増大および手作業による歩留り悪化の原因にもなっていた。

取材 FiNEST を適用した結果、従来のそれらと比較すると素材質量を 1 484 kg 削減した。歩留り率においては、詳細 FiNEST と比較した場合 84.4% から 86.9% となり、2.5% 向上し、手作業による詳細ネスティング歩留り率に対しては 3.6% 向上した。以上から、取材 FiNEST を活用することで歩留り率が大幅に向上していることを確認できた。また、素材鋼板枚数においては、4 枚減少という結果となっており、取材 FiNEST の許容最大値内で素材鋼板を生成することが、結果的に枚数減少という事実を生み出したといえる。この事例は、ハンドリング回数が減少することで、加工ステージでの作業効率の向上にもつながる。

4.3 今後の課題

現在、取材 FiNEST を新設計船取材で適用中である。この実船適用を通して、取材 FiNEST の核となっているアルゴリズム機能のさらなる拡張および取材 FiNEST フローの調整を行い、よりいっそうユーザ思想に近いものとなるよ

うに取り組んでいく。

5. 結 言

本稿では、FiNEST アルゴリズムを鋼板の発注寸法決定用に拡張した内容について述べ、実船への適用事例を通してその有効性を説明した。図面をトレースして部品をかみ合わせ、手作業で鋼板寸法を決めていくという複雑な作業を簡略化できることによる能率向上は当然として、本アルゴリズムによって、困難とされていた自動ネスティングでありながら手作業を上回る歩留り率と高度な性能が得られることが明らかとなった。

株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッドでは 2005 年 6 月から新設計船での鋼板発注寸法決定用に本システムを全面展開している。これらの実践を通して、さらなる改善を積み重ねていく所存である。

参 考 文 献

- (1) 長島智樹, 丹羽 太, 平野 光, 岡田哲男: FiNEST アルゴリズムによる鋼板自動ネスティングの実用化 石川島播磨技報 第 44 巻第 3 号 2004 年 5 月 pp.229-236
- (2) 岡田哲男, 根木 勲: 遺伝的アルゴリズムによる船体構造最適設計 日本造船学会論文集 第 171 号 1992 年 pp.103-110