

SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES TECHNICAL REVIEW

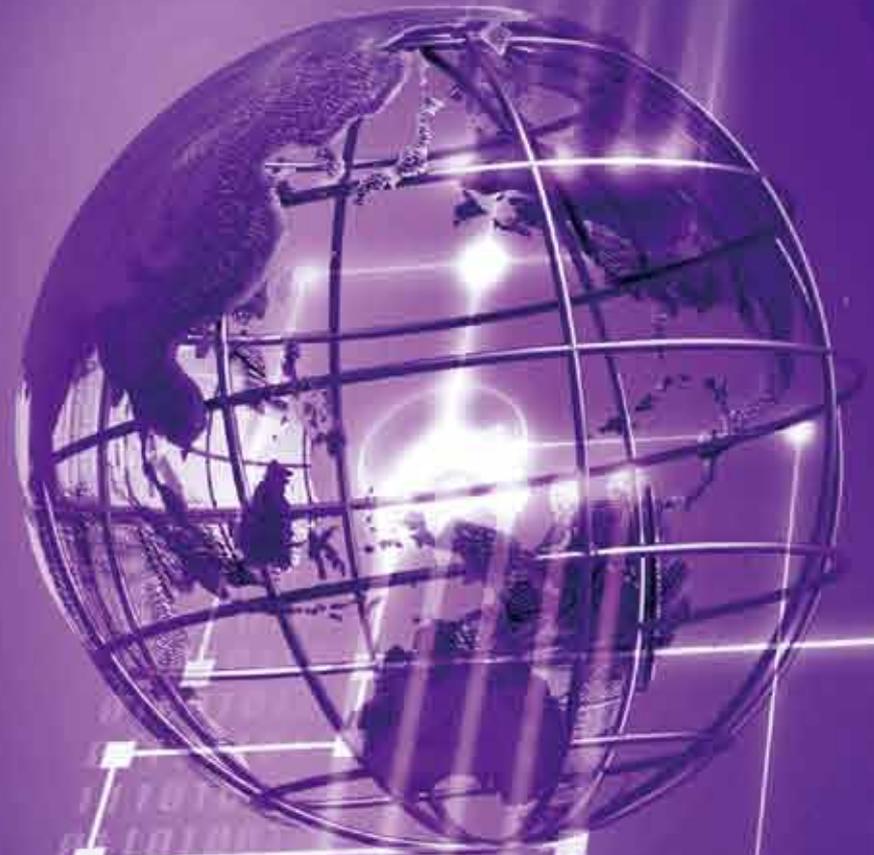


住友重機械技報

No.179

Aug.2012

ISSN 0387-1304



グローバル製品特集

Special Issue for Global Products

住友重機械技報 No. 179 2012

グローバル製品特集

論文・報告	くりこみ群分子動力学法による回転塑性加工シミュレーション 大西良孝, 檜垣孝二, 市嶋大路, 広瀬良太	1
	フィールドビューモニターシステムの開発 -映像合成による油圧ショベルの周囲確認支援システム- 清田芳永, 因藤雅人, 加藤英彦	5
	延性破壊シミュレーションによるつり手の限界強度設計法の開発 石田浩修, 真坂英次	9
	平面研削盤テーブル駆動の省エネルギー化と振動低減 小木曾太郎, 塚根浩一郎	15
	全電動射出成形機SE-EVシリーズ 横山 拓	19
技術解説	PET用薬剤製造システム 日朝俊一	23
	門形平面研削盤 KSL 杉山陽介	25
	超高磁力型マグネットセパレータの開発 大兼久 満	27
	1W4Kパルスチューブ冷凍機 齋藤元和, 許 名堯	29
	IE2高効率モータにおける効率向上と国際規格対応 水谷清信, 竹島 豊, 藤野泰充	31
	超高速凝集沈殿装置 スミシクナー®の海外向けアプリケーション 田中孝一	33

新製品紹介

ガスタービン発電機用高速歯車装置	35
新型リーチフォークリフトFBR	36

Special Issue for Global Products

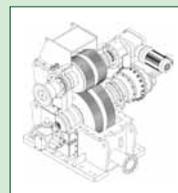
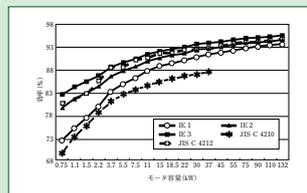
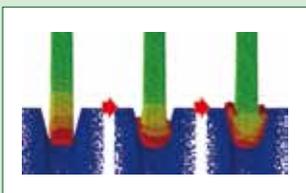
T/PAPERS	Rotating Plastic Forming Simulation Using Renormalization Molecular Dynamics Yoshitaka OHNISHI, Koji HIGAKI, Daiji ICHISHIMA, Ryota HIROSE	1
	Development of FIELD VIEW MONITOR System — Operator support system for a hydraulic excavator to check safety around the vehicle on a stitched image — Yoshihisa KIYOTA, Masahito INDOH, Hidehiko KATOH	5
	Development of a Structural Limit Strength Design Method Using Ductile Fracture Simulation Hironobu ISHIDA, Hidetsugu MASAKA	9
	Energy Conservation and Vibration Reduction on the Table Driving of Surface Grinding Machines Taro OGISO, Koichiro TSUKANE	15
	All Electric Injection Molding Machine SE-EV Series Taku YOKOYAMA	19
T/INVITATIONS	Production System for PET Tracers Toshikazu HIASA	23
	Double Column Type CNC Slideway & Surface Grinding Machine KSL Yousuke SUGIYAMA	25
	Development of a Super-high Magnetism Magnet Separator Mitsuru OOKANEKU	27
	1W4K Pulse Tube Refrigerator Motokazu SAITO, Mingyao XU	29
	Efficiency Improvement of IE 2 Motors for Global Regulation Kiyonobu MIZUTANI, Yutaka TAKESHIMA, Yasuhiro FUJINO	31
	Overseas Application of SUMI-THICKENER® Koichi TANAKA	33

NEW PRODUCTS

Vertical Offset Parallel Shaft Gear Box for Gas Turbine-Generator	35
New Reach Forklift Truck	36

Special Issue for Global Products

グローバル製品特集



くりこみ群分子動力学法による回転塑性加工シミュレーション

Rotating Plastic Forming Simulation Using Renormalization Molecular Dynamics

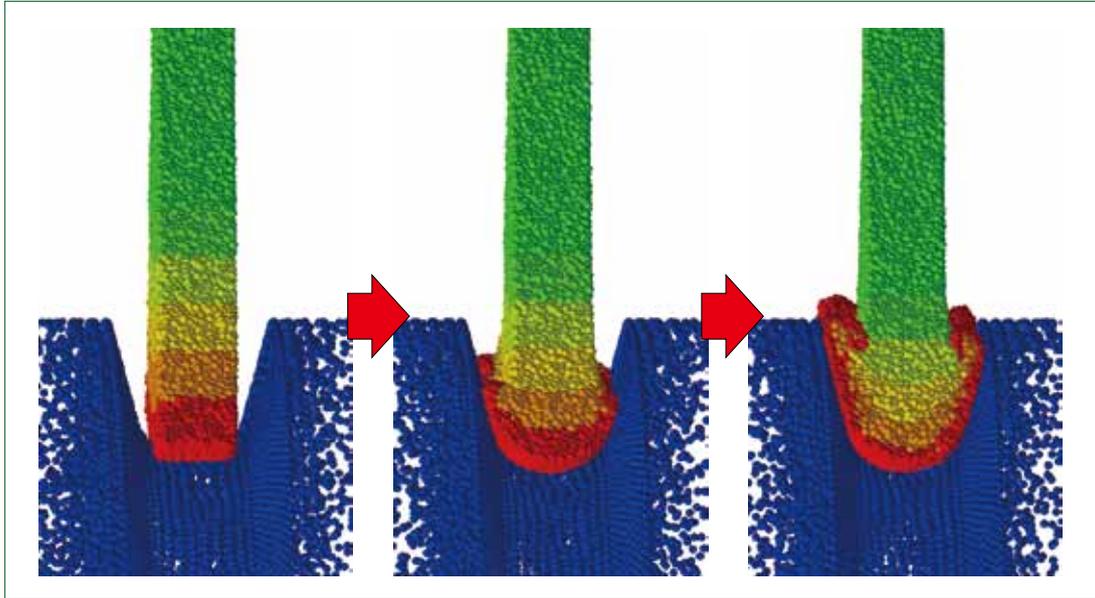
●大西良孝* 檜垣孝二** 市嶋大路* 広瀬良太*

Yoshitaka OHNISHI

Koji HIGAKI

Daiji ICHISHIMA

Ryota HIROSE



回転塑性加工シミュレーション
Rotating plastic forming simulation

回転塑性加工を忠実にシミュレートするには、回転機構や弾塑性変形に加え、金属同士の接触、接触時の摩擦による発熱や温度上昇および熱による加工硬化などが複雑に絡み合った現象を解く必要がある。このことから従来のように多数の仮定を施す経験的な手法を適用することはできない。当社が開発したくりこみ群分子動力学法(Renormalization Molecular Dynamics RMD)は、分子動力学法の利点をすべて継承することから、複雑なモデル化をすることなくこれらの現象をすべて考慮したシミュレーションを行うことが可能である。

本報では、一般的な炭素鋼材料を対象とした回転塑性加工シミュレーションの適用について報告する。結果、従来法では再現困難な、金属のまくれ込み現象を再現することに成功した。

To accurately simulate a rotating plastic forming process, it is needed to assess the rotation mechanism and elastic-plastic deformation, and also to elucidate the phenomena caused by a complex interaction of metal-to-metal contact, exoergic reaction and temperature rise created by its friction, and work-hardening caused by heat. Therefore, typical empirical methods based on many assumptions cannot be applied to the aimed simulation. Renormalization Molecular Dynamics (RMD), developed by SHI, makes it possible to simulate the process involving the aforementioned interaction without creating complicated models since the RMD adheres to all the advantages of the MD method. This paper reports on the RMD method applied to a simulation of the rotating plastic forming on typical carbon steel. It is found that the method can successfully reproduce metal-carling phenomenon, which has ever been hardly reproduced by other conventional methods.

1 まえがき

分子動力学(Molecular Dynamics MD)法⁽¹⁾⁽²⁾は、古典的多粒子系の研究に広く用いられている手法である。物質のマクロな現象は、計算機上ですべての原子の運動を追跡し、統計的な処理を施すことで導き出すことが可能となる。しかしながらマクロな現象を再現するには膨大な数の原子を追跡することになり、既存の電子計算機では実現できない。

一般的に塑性加工のシミュレーションは有限要素法(Finite Element Method FEM)を用いて行われており、解析ソフトも多数提供されている。近年の計算機能力の向上と解析手法の高度化により、割れやしわの発生および加工時の材料流動など、複雑かつ大規模な問題の解析も可能となってきている⁽³⁾⁽⁴⁾。しかしながら、シミュレーションソフトは研究者および開発者によりさまざまな手法が用いられており、それぞれに特長と欠点を持っている。従って、どの手法や解析ソフトでも利用

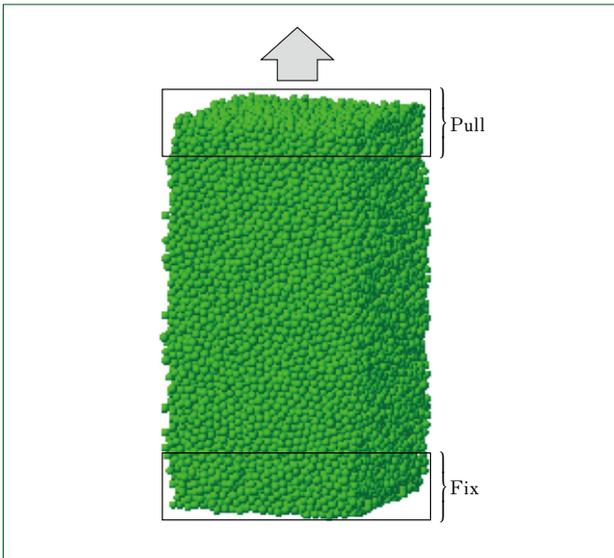


図1 引っ張り試験の計算モデル
Calculation model of tensile test

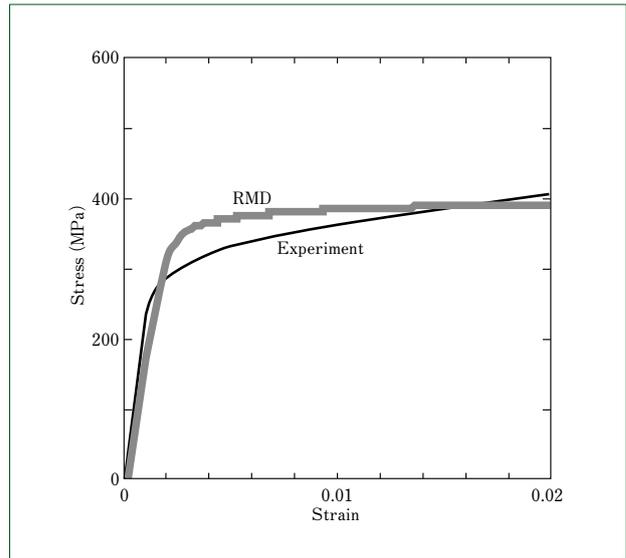


図2 応力-ひずみ曲線
Strain-Stress curve

者すべての要求を満たすことはできないのが現状である⁽⁵⁾。MD法による任意のスケールのシミュレーションが可能になれば、これらの問題点を解決することができる。MD法ならば、加工時の温度上昇、ポイド・クラックの発生および結晶の構造相変化による加工硬化など、塑性加工時に重要となる現象が何のモデル化も必要なく再現できる。

そこで我々はくりこみ群⁽⁶⁾の考え方をMD法に適用することで、MD法の利点を継承したまま計算効率を飛躍的に向上させることができるくりこみ群分子動力学(Renormalization Molecular Dynamics RMD)法を開発した⁽⁷⁾⁽⁸⁾。

2 くりこみ群分子動力学法

2.1 くりこみ群変換

現実の系が体積 $V=L^3$ 、原子数 N を持つとする。この系にくりこみ群を適用し、縮小された相似な系 (L', N') を作る。

$$\begin{aligned} L &\rightarrow L' = L \alpha^{-1} \\ N &\rightarrow N' = N \alpha^{-3} \dots\dots\dots (1) \\ \alpha &= 2^n \end{aligned}$$

n はくりこみ回数である。

くりこみに際し、物理量は次のようにくりこまれる。

$$\begin{aligned} m &\rightarrow m' = m \alpha^2 \dots\dots\dots (2) \\ \phi &\rightarrow \phi' = \phi \end{aligned}$$

ここで、 m 質量、 ϕ は原子間ポテンシャルである。また、変数は次のようにスケールされる。

$$\begin{aligned} p &\rightarrow p' = p \alpha \\ q &\rightarrow q' = q \alpha^{-1} \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

ここで、 p は運動量、 q は座標である。

くりこみの結果、時間はくりこみ変換によってスケールされない。しかし時間刻み Δt はくりこまれる前の系の α 倍に取ることが可能である。

2.2 場の量の算出

場の量は局所的な領域 $V_i \in V$ に含まれる原子数 $N_i \in N$ の統計平均により算出することができる。空間座標 \mathbf{x} 、および時

刻 t における速度場 $\mathbf{v}(\mathbf{x}, t)$ 、密度分布 $\rho(\mathbf{x}, t)$ 、温度場 $T(\mathbf{x}, t)$ 、応力場 $\sigma_{xy}(\mathbf{x}, t)$ はそれぞれ次の公式で算出される。また、(2)、(3)式を用いて変換した相似則も同時に示す。

$$\mathbf{x}' = \frac{\sum_i^{N_i} m'_i \mathbf{q}'_i}{\sum_i^{N_i} m'_i} = \mathbf{x} \alpha^{-1} \dots\dots\dots (4)$$

$$\mathbf{v}'(\mathbf{x}', t) = \frac{\sum_i^{N_i} m'_i \mathbf{p}'_i}{\sum_i^{N_i} m'_i} = \mathbf{v}(\mathbf{x}, t) \alpha^{-1} \dots\dots\dots (5)$$

$$\rho'(\mathbf{x}', t) = \frac{1}{V'_i} \sum_i^{N_i} m'_i = \rho(\mathbf{x}, t) \alpha^2 \dots\dots\dots (6)$$

$$T'(\mathbf{x}', t) = \frac{2}{3N'_i k_B} \sum_i^{N_i} \frac{1}{2} m'_i (\mathbf{p}'_i - \mathbf{v}'(\mathbf{x}', t))^2 = T(\mathbf{x}, t) \dots\dots\dots (7)$$

$$\sigma'_{xy}(\mathbf{x}', t) = \frac{1}{V'_i} \sum_i^{N_i} \left(m'_i p'_{ix} p'_{iy} - q'_i \frac{\partial}{\partial q'_{ij}} \Phi(q'_i) \right) = \sigma_{xy}(\mathbf{x}, t) \dots\dots\dots (8)$$

特に応力・温度については、くりこみ変換に際して不変である。

3 シミュレーションモデル

3.1 被加工素材の応力-ひずみ曲線の再現

RMDは原子間ポテンシャルの形状やパラメータにより材料の物性が決定される。このことからポテンシャルの選定は特に重要な作業である。アルミや鉄のように金属単体のポテンシャルは多数報告されているが、このようなポテンシャルの材料特性は、粘りが大きくなる傾向がある⁽⁹⁾。これらのポテンシャルによるパラメータの合わせ込みでは、ヤング率を合わせれば降伏点が上がり、降伏点を合わせればヤング率が下がる傾向がある。そこで本報では、Engelらがガラス転移の研究を目的として開発したポテンシャル⁽¹⁰⁾を参考にし、当社独自のポテンシャルを開発した。

パラメータの合わせ込みは、実際に計算機上で引っ張り試

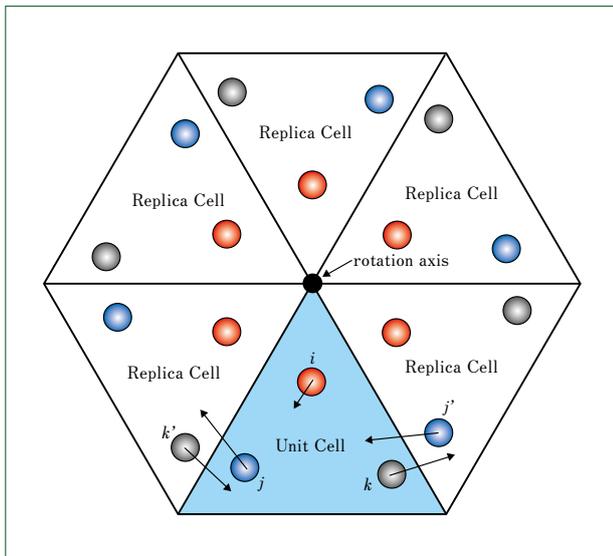


図3 円筒型周期境界
Cylindrical periodic boundary condition

験を行い決定する。図1に、計算のモデルを示す。モデル下端を固定し、上端に引っ張り力を加え、破断するまで計算を行う。加えた力と初期状態からの伸びで、応力-ひずみ曲線を得る。

図2に、応力-ひずみ曲線の実験値と計算値を示す。パラメータを合わせ込んだ結果、ヤング率と破断時の応力がよく一致していることが分かる。

3.2 円筒型周期境界条件

回転対称性を有する対象をシミュレートする場合、対象の回転対称性を反映した周期境界条件を設定することで、計算負荷を低減することができる。

図3に、今回用いた円筒形周期境界条件の概念図を示す。ユーザは、回転軸から半径方向に延びる第1境界面と、第1境界面を回転軸の周りで360度のN分の1 (Nは2以上の自然数)の角度で回転させることで得られる第2境界面に挟まれる領域をユニットセルとして定義し、この領域についてのみ計算を行う。ほかの領域はユニットセルと同一の動きを行うレプリカセルであり、ユニットセルの粒子とレプリカセルの粒子は相互作用を行うとする。また、ユニットセルから飛び出した粒子は、境界面を介して再びユニットセルの対応した位置へと入る。これにより、ユニットセルの計算のみでレプリカセルを含めた対象全体を計算しているとみなすことができる。また、回転軸を移動させたり傾けたりすることで、回転対称体全体を運動させることも可能である。

この境界条件は、RMDだけでなくMPS^[11]、SPH^[12]、DEM^[13]など粒子法全般に適用できる。なお、この手法は特許出願中である。

3.3 塑性加工シミュレーションモデル

図4に、今回用いたシミュレーションモデルを示す。向かって右側が被加工素材であり、半径170.0mm、厚さ11.0mmの円盤である。ポテンシャルは3.1で述べたものを使用した。また、回転軸周りに36度、すなわち10分の1だけ取り出し3.2で述べた円筒型周期境界条件を適用した。ここで、加工に寄与しないIの領域は剛体とし、強制的に回転・送り運動を行うこととした。

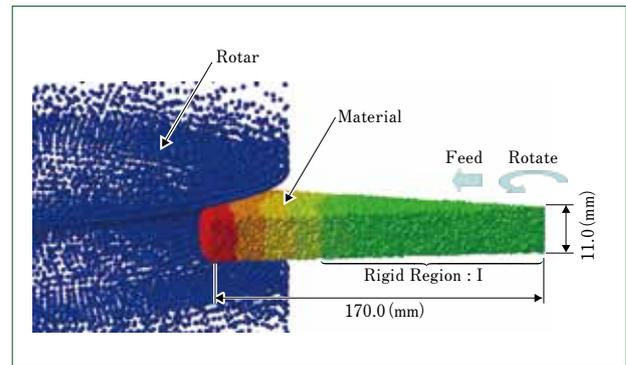


図4 回転塑性加工シミュレーションモデル
Rotating plastic forming simulation model

左側は加工素材のローラであり、材料のヤング率は208.0 GPa、密度は7800 kg/m³とした。原子間ポテンシャル ϕ は式(9)の2次ポテンシャルを使用している。

$$\phi(r) = \frac{1}{2} k (r - r_0)^2 \dots \dots \dots (9)$$

ただし、 k はバネ定数、 r は原子間距離、 r_0 は安定距離である。ここで、 r_0 は密度から、 k はヤング率から逆算して決定した^[14]。また、ローラの上端・下端はトルクを受けて回転運動のみを許すことにしている。すなわち、ローラ自身は加工素材と接触しながら連れ回りをする。

加工素材、被加工素材とも、繰り込まれた原子数 N' は4194304個 ($\alpha=2^{22}$)である。

加工条件は回転速度600 rpm、送り速度100 mm/minとする。ただし、計算時間を短縮すべく、実際より100倍速い速度に設定する。

3.4 塑性加工シミュレーション結果

図5に、塑性加工中の原子位置の時刻歴をスナップショットにして示す。被加工素材の原子は初期位置からの移動が分かりやすいように、ラジアル方向の距離により着色してある。

円筒の最も外側に位置する原子は、ローラと接触後塑性変形を始める。加工が進むにつれ、原子はローラの接触面に沿って流れ、最終的には加工部分を包むようにまくれ込んでいることが分かる。この現象は実際に観測されており、まくれ込んだ部分は圧延を継続しても圧着されず、大きく長い割れとして成長すると考えられている。実際には異なる形状のローラで中間工程を行い、まくれ込み現象を低減させている。しかしながら新しいローラを用意するコストや時間などを考えると、中間工程はなるべく少ないことが望ましい。

そこで送り速度を実際の2倍から20倍まで変えてシミュレーションを行い、まくれ込み量の違いを観察した。図6に、得られた結果を示す。特に送り速度を20倍にした場合、外側の原子は円筒内側に流れることなく、まくれ込みのない加工がなされていることが分かる。実際には、このような送り速度で加工を行える機械システムを構築することは困難であるが、もし可能であれば、中間工程を行うことなく、理想的な加工ができることを示している。

このように、計算機上で試行錯誤的に加工条件を変えてシミュレーションを行うことで、試作することなく最適な加工条件を得ることが可能である。

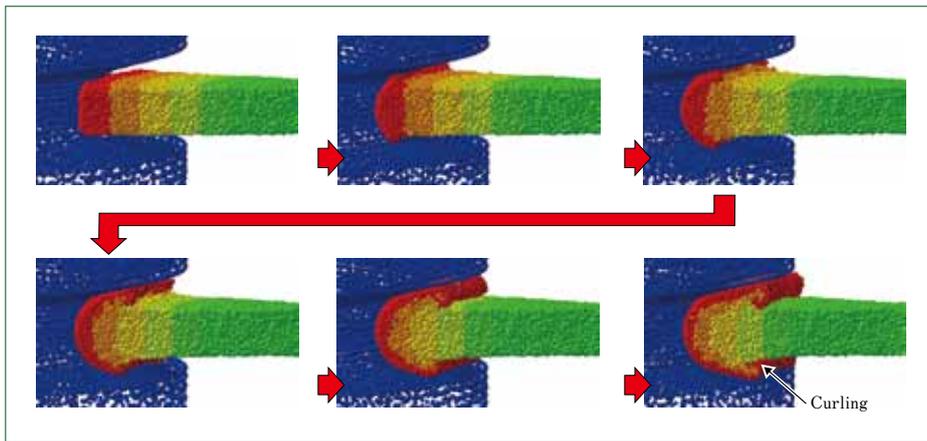


図5 回転塑性加工シミュレーションのスナップショット
Snap shot of rotating plastic forming simulation

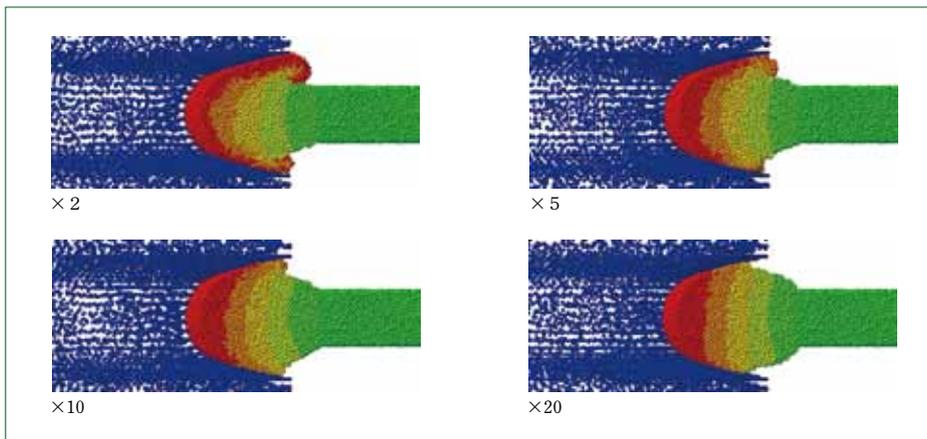


図6 送り速度を変えた場合の回転塑性加工シミュレーション結果
Rotating plastic forming simulation result in case of feeding velocity is varied

4 むすび

- (1) 独自のポテンシャルを開発することで、炭素鋼材料の応力-ひずみ曲線を再現することに成功した。
- (2) RMDを塑性加工シミュレーションに適用することで、従来手法では再現が困難なまくれ込みの現象を再現することに成功した。
- (3) 加工条件によって、まくれ込みの量が変化する。ゆえに計算機上で最適な加工条件を探索することを可能とした。

今回は熱および温度の効果を定量的に評価しなかった。加工中の温度は、冷間加工・温間加工時に必須のパラメータとなることから、今後の検討が急務である。

(参考文献)

- (1) J.M.Thijssen, Computational Physics(1999)175, Cambridge University Press.
- (2) 日本機械学会編, 原子・分子を用いる数値シミュレーション, コロナ社, 2001.
- (3) 寺田幸助, 高橋進, 田口直人, 絞りスピニング加工における破断発生メカニズムとその予測手法, Journal of the JSTP, vol.51, no.592 (2010-5).
- (4) 木原茂文, 三好峻佑, 白石光信, 新川真人, ダイス傾斜押し出し加工法による湾曲棒の成形解析, 塑性と加工(日本塑性学会誌), 第48巻, 第551号(2007-1).
- (5) 濱家信一, 鍛造CAEの基礎, 株式会社ニチダイ研究レポート, http://www.nichidai.jp/business/pdf/kenkyu_report01.pdf.

- (6) 繰り込み理論の地平, 数理科学, 406(1997), サイエンス社.
- (7) 市嶋大路, シミュレーション方法及びプログラム, 特開 2010-146368.
- (8) D.Ichishima, Y. Ohnishi, R. Hirose, Renormalization Group Theory for Molecular Dynamics., Sumitomo Heavy Industries Technical Review, no.168, 2008, p.31.
- (9) 岡本伸吾, 正木敦史, 分子動力学法による単結晶金属の力学的材料定数の計算とポテンシャルの評価, 日本機械学会論文集(A編), 62巻599号(1996 7).
- (10) M.Engel and H.-R. Trebin, Self-Assembly of Complex Crystals and Quasicrystals with a Double-Well Interaction Potential, Phys.Rev. Lett.98, 225505 (2007).
- (11) Koshizuka, S. and Oka, Moving-particle semi-implicit method for fragmentation of incompressible flow, Nucl.Sci.Eng., vol.123, pp.421-434.
- (12) Monaghan, J.J. Smoothed particle hydrodynamics, Annu.Rev. Astrophys., vol.30, pp.543-574 (1992).
- (13) P.A.Cundall, and O.D.L.Strack, A Discrete numerical model for granular assemblies, Geotechnique 29 (1979), 47.
- (14) 市嶋大路, 大西良孝, シミュレーション方法及びプログラム, 特開 2009-037334.

フィールドビューモニターシステムの開発

—映像合成による油圧ショベルの周囲確認支援システム—

Development of FIELD VIEW MONITOR System

—Operator support system for a hydraulic excavator to check safety around the vehicle on a stitched image—

●清田 芳永* 因藤 雅人* 加藤 英彦**
Yoshihisa KIYOTA Masahito INDOH Hidehiko KATOH



油圧ショベルのフィールドビューモニターシステム
FIELD VIEW MONITOR system for a hydraulic excavator

油圧ショベルの周囲確認支援システム⁽¹⁾を開発したので、その概要を報告する。本システムは車体周囲を撮影する複数のカメラからの映像をリアルタイムに合成し、キャビン内のモニター上で映像を切り替えることなく周囲確認を可能とするものである。従来からのミラーやバックモニターシステムによる周囲確認の負担軽減、危険因子的見落とし防止を目標に開発を開始した。本報では、本システムを20tクラスの油圧ショベルに適用した事例をもとに、そのシステム構成、技術および効果を紹介する。

We provide an overview of the development of the FIELD VIEW MONITOR system that helps ensure safety around a hydraulic excavator. In real time this system allows us to stitch images shot by multiple cameras equipped on the vehicle, which helps ensure its safe surroundings without switching different monitors in the cabin. We began to develop the system with the aim to reducing the burden with a conventional safety-check-method using mirrors and a rearview camera and to preventing overlooking hazardous factors. This paper describes associated components, technologies, and the effectiveness of the system by taking an example of a 20-ton class hydraulic excavator that applied the system.

1 まえがき

油圧ショベルはその構造と大きさゆえに、特に車体後方と右側方にオペレータから直接目視できない死角が多く、周囲に作業や障害物が混在する現場においては視界性確保が安全運用上の重要な課題である。

視界性確保を目的として、ミラーやバックカメラシステムが一般的に用いられているが、キャビン外の車体各所にある複数のミラーを直接目視することはオペレータにとって負担である。さらに小型のミラーで広範囲をカバーすることから像が小さく、危険因子を見落とす恐れもある。一方キャビン内のモニターに死角の映像を映し出すバックカメラシステムは、オペレータの負担軽減や危険因子の見落とし防止には有効であるが、映し出された映像と車体の位置関係を直感的に

把握しづらい。また、今後さらに広範囲をカバーすべく複数のカメラを搭載する場合には、映像の切替え操作が新たな負担となりうる。

そこで本システムは、油圧ショベルの周囲確認支援システムとして、車体と周囲作業あるいは車体と周囲障害物との位置関係を、キャビン内のモニターに複数のカメラからの映像を切り換えることなく、把握しやすい映像で映し出すことを目標とした。

開発に際しては、20tクラスの油圧ショベルを主ターゲットとし、試作および評価を行った。以後本報は、特記なき限り20tクラスの油圧ショベルへの適用事例をもとに記述する。ただし、その前後のクラスや応用機といったバリエーションまでを幅広くかつ容易に適用可能とすることおよび既存の油圧ショベルへの後付け適用を可能とすることも考慮した。

表1 本システムの概略仕様
Specifications of system

カメラ	有効画素数	512(H)×492(V) (約25万画素)
	走査方式	インターレース
	信号形式	NTSCビデオ信号
モニター	画面サイズ	7インチワイド
	解像度	480(H)×234(V)
	信号形式	NTSCビデオ信号
	信号入力数	3系統
映像合成ユニット	出力解像度	320(H)×240(V) (QVGA)
	信号形式	NTSCビデオ信号
	信号入力数	3系統(カメラ映像)
	信号出力数	4系統(カメラ映像スルー×3, 合成映像×1)
	外形寸法	140(W)×125(D)×35(H) mm (フランジ部含まず)

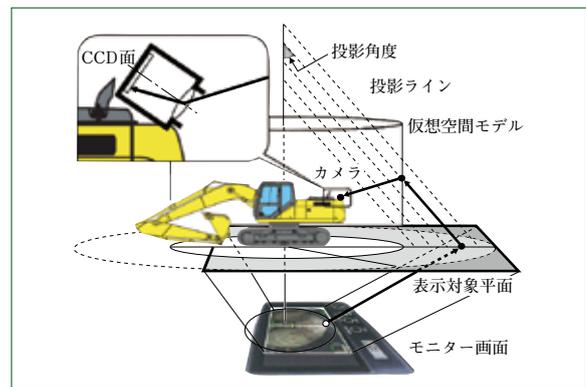


図1 合成映像とカメラ映像の座標対応付け処理
Mapping between a stitched image and source images

2 システム構成

本システムの子載ハードウェアは、車体の後方、右側方および左側方を撮影する3台のカメラと、各カメラからの映像を入力し合成映像を出力する映像合成ユニットと、キャビン内前方右手に設置した液晶モニターからなる。表1に、システムの概略仕様を示す。

2.1 カメラ

各カメラは非同期のNTSCカラーカメラである。撮影方向によって明るさが異なる環境に対応すべく、個別のオートゲインコントロールを備える。また薄暮や夜間の視界性確保に配慮し、高感度のCCDセンサを採用した。

2.2 映像合成ユニット

映像合成ユニットは、3系統のカメラ映像入力と、3系統のカメラ映像スルー出力および1系統の合成映像出力を備える。映像合成ユニット障害時の視界性確保に配慮し、映像合成ユニットの電源断時にもカメラ映像スルー出力の途絶がないように設計した。

リアルタイムでの合成映像出力を実現すべく、映像合成処理はFPGAによるパイプライン処理で実装した。また、油圧ショベルのパリエーションへの対応を目的として、最大96機種までの映像合成データの登録および切替えを可能とした。

その他、誤動作防止を目的として、合成映像出力のフリーズ、部品故障やソフトウェア障害および記憶データの損傷や意図せぬ改変を検知し、警告する機能を備える。

2.3 液晶モニター

液晶モニターは3系統の映像入力と切替え表示機能を備える。映像合成ユニット障害時の視界性確保に配慮し、1系統に合成映像を、残りの2系統にはオペレータから直接目視できない後方と右側方カメラのスルー映像を割り当てた。

2.4 映像合成ソフトウェア

映像合成ソフトウェアは、対象とする油圧ショベルの車体寸法、カメラ位置と姿勢、カメラ光学系仕様および車体イラストデータなどを入力し、映像合成データを出力する。

新機種追加時に個別の合成映像調整作業を不要とすべく、車体の設計データとカメラのカatalog仕様のみにから映像合成を可能とした。

3 課題と解決

油圧ショベルの作業環境から想定した、合成映像に対する要求機能を次にあげる。

- ・車体のごく近傍まで映し出す
- ・障害物像を漏れなく映し出す
- ・車体と障害物との位置関係を正しく映し出す
- ・大型障害物の像を映し出す
- ・周囲作業者の像高を十分に大きく映し出す

これらは主にカメラ設置方法と、映像合成ソフトウェアでの映像合成方法の課題である。

3.1 カメラ設置方法

車体にカメラを設置するに当たっては、カメラ本体が車体から突出しないこと、作業中の振動や衝撃で姿勢が変化しにくいことおよび油圧ショベルの機能性や外観を著しく損なわないことが条件である。また、カメラ映像上での障害物像の見え方を均等にすべく、可能な限り左右対称の配置とし、撮影方向の偏りがないように設置することが望ましい。そこで後方カメラはカウンターウェイト上面中央、左右側方カメラはハウス上面の左右後端に設置し、カメラ直下の路面からカメラ高さ程度大型障害物までをともに視野範囲内とすることを目的とし、視野下端に車体の一部が映りこむ程度に角度調整した。

3.2 映像合成方法

映像合成処理は、大きく分けて2つの処理からなる。1つは合成映像上の画素位置とカメラ映像上の画素位置を対応付ける座標対応付け処理であり、もう1つは複数のカメラで重複して撮影可能な範囲で、どのカメラ映像を採用するかを決定する映像境界処理である。

(1) 座標対応付け処理

座標対応付け処理は、油圧ショベルの周囲に配置した円筒型の仮想空間モデルを媒介した2ステップの計算からなる(図1)。合成映像上の画素位置と仮想空間モデル座標とを対応付ける計算(STEP1)と、仮想空間モデル座標とカメラ映像上の画素位置とを対応付ける計算(STEP2)である。

STEP1の計算では、モニター画素単位の2次元平面である合成映像上の点と、実世界単位の3次元空間である仮想空間モデル上の点とを対応付ける。まずあらかじめ

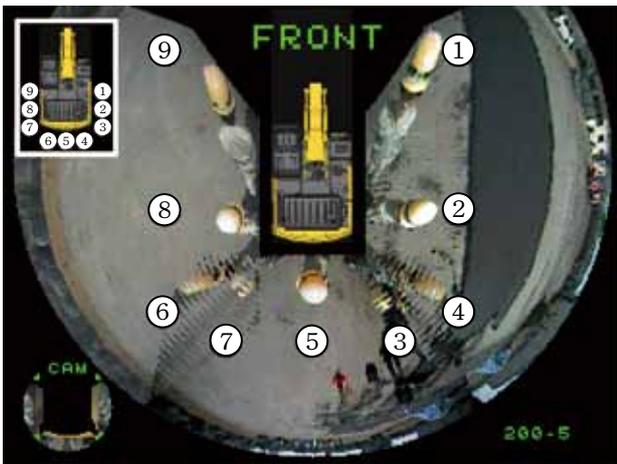


図2 車体近傍の障害物視認性
Stitched image of neighboring obstacles

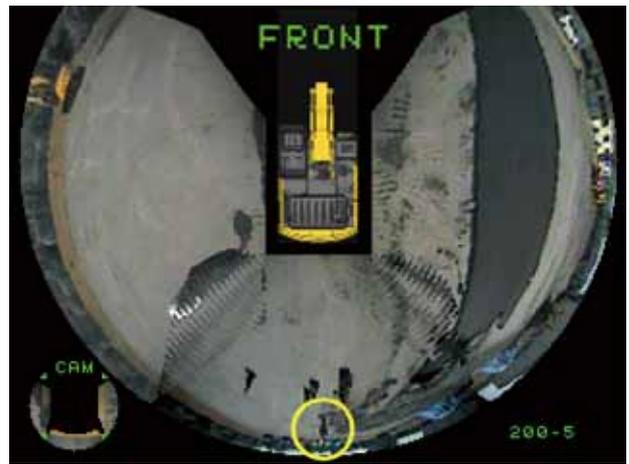


図4 障害物像の像高
Stitched image of a distant obstacle

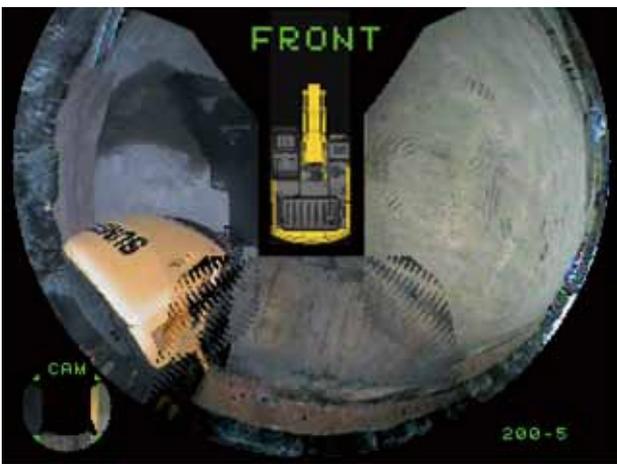


図3 大型障害物の視認性
Stitched image of a large obstacle

め定めた画素スケールで、画素単位の合成映像平面を実世界単位の平面(表示対象平面)に変換し、油圧ショベルの接地面と重ね合わせる。次に仮想空間モデルの円筒軸と所定の角度(投影角度)をなし、円筒軸上の全点から半径方向全方位に伸びる線分(投影ライン)群を定義する。そして表示対象平面上のある点を通る投影ラインが、仮想空間モデルと交わる点を計算することでSTEP 1の計算が完了する。

STEP 2の計算では、実世界単位の3次元空間である仮想空間モデル上の点と、CCD画素単位の2次元平面であるカメラ映像上の点とを対応付ける。まずレイトレーシングにより、仮想空間モデル上の各点について、各カメラのCCD面上での結像位置を計算する。次にCCD 1画素当たりの大きさから、前記結像位置がカメラ映像上のどの画素に相当するかを計算することでSTEP 2の計算が完了する。

仮想空間モデルの大きさは、合成映像上での障害物像までの距離感や、障害物像の変形度合いに影響する。また投影角度は、遠方の障害物の像高に影響する。

(2) 映像境界処理

本システムのカメラ配置では、合成映像上のある画素に対し、最大2つのカメラ映像上の画素が対応付けられる場合がある。映像境界処理は、このうちどちらの対応

付けを採用するかを選択する処理である。

最も簡易な方法は、前記レイトレーシングの計算過程で、カメラへの光線入射角が小さい対応付けを選択する方法であるが、映像境界部で障害物像が消失する問題を生じる。障害物を漏れなく映し出すには、複数のカメラで重複して撮影可能な範囲で映像をうまく混合する必要がある。

本システムでは、障害物像の視認性を可能な限り保持しながら映像を混合する方法として、波の干渉パターンにもとづいて対応付けを自動選択する方法を考案し実装した。あらかじめ規定した幾何パターンにもとづく方法と比較して複数機種への対応が容易であり、また自然現象にもとづいたパターンで映像を混合することにより、合成映像上での映像境界処理部の違和感を低減することができる。

4 実機評価

本システムをショベル実機に適用し、前述の目標機能について評価した。加えて、夜間視認性と車体傾斜の影響も評価した。

4.1 車体近傍の障害物視認性

車体近傍の視界性、障害物像の視認性および車体と障害物との位置関係を評価すべく、車体側面に沿って人を配し、合成映像上での見え方を確認した(図2)。車体のごく近傍まで、死角なく障害物像を映し出せていることが分かる。映像境界処理部において、実際の立ち位置と合成映像上での頭部の表示位置が逆転するが、障害物の存在を確認し、およその位置を把握する目的において要求を十分に満たす。

4.2 大型障害物の視認性

大型障害物の視認性を評価すべく、12tクラスの油圧ショベルに車体を接近させ、合成映像上での見え方を確認した(図3)。合成映像の表示範囲が、カメラ高さでの水平面より上までカバーしていることで、大型障害物像の全体像を映し出せていることが分かる。

4.3 障害物像の像高

合成映像上での周辺作業者の像高を評価すべく、車体後端から後方12mの位置に人を配し、その像高を確認した(図4)。



図5 夜間視認性(2011年3月29日18時ごろ)
Stitched image in darkness (18:00 29/03/2011)



図6 車体傾斜の影響
Stitched image on a tilted vehicle

モニター画面上での像高はモニターサイズに依存するが、本システムにおいては約5 mmである。遠方の障害物の像高と大型障害物の視認性とのバランスは、前記投影角度を変更することで容易に調整可能である。

4.4 夜間視認性

夜間の視認性を評価すべく、車体の近傍に人や障害物を配し、薄暮での合成映像を確認した(図5)。高感度のCCDセンサーが有効に作用し、障害物や歩行者の像を映し出していることが分かる。ノイズが多く色彩情報も失われているが、障害物の存在を確認し、およその位置を把握する目的において要求を十分に満たす。

4.5 車体傾斜の影響

車体の傾斜が合成映像に与える影響を評価すべく、油圧ショベルのフロント部をジャッキアップし、合成映像の見え方を確認した(図6)。車体の傾斜によりカメラと路面の位置関係が変化し、路面パターンの連続性が失われている。しかしながら、本システムはカメラ映像を完全につなぎ合わせるものではなく、映像境界処理によりカメラ映像を混合表示するものである。従って、カメラで撮影可能な障害物は合成映像上に映し出すことが可能であり、障害物の存在を確認し、およその位置を把握する目的において要求を十分に満たす。

5 むすび

- (1) 車体のごく近傍の歩行者から遠方の大型障害物までを、キャビン内のモニターに漏れなくリアルタイムで映し出すことが可能な、油圧ショベルの周囲確認支援システムを開発し実用化した。
- (2) 本システムは2011年10月、国土交通省の新技术情報提供システムNETIS(New Technology Information System)⁽²⁾への登録を完了した(登録番号 KT-110057-A)。
- (3) 本システムは既に油圧ショベルのオプションとして住友建機株式会社より販売を開始した。遠方より接近する車両など、広範囲を確認可能な点に対する評価や、周囲環境の見える化による安全意識の向上など、現場オペレータからの声も寄せられている⁽³⁾⁽⁴⁾。今後も機能改善、新機能開発を継続し、安全安心な作業現場の実現を目指したい。

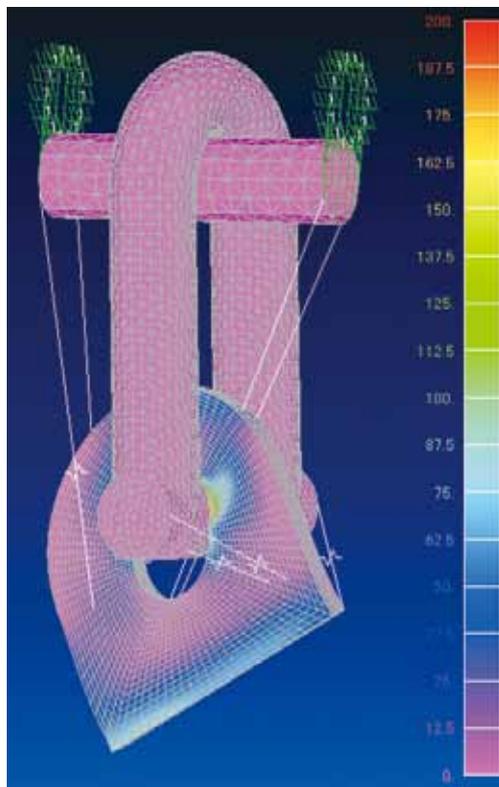
(参考文献)

- (1) 清田芳永, 因藤雅人, 加藤英彦, 映像合成による油圧ショベルの周囲確認支援システム, 建設の施工企画, 社団法人日本建設機械化協会, no.743, 2012, p.50.
- (2) 新技术情報提供システム(New Technology Information System: NETIS), <http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/NewIndex.asp>, 2012年4月現在.
- (3) 住友建機のFVM導入, 北海道建設新聞, 2011年11月8日.
- (4) 志村満, 電線切断, 水道管破損など重機による公衆損害事故が多発. 実例に見るその原因と防止策, POWER, 住友建機株式会社, vol.114, 2012, p.2.

延性破壊シミュレーションによるつり手の限界強度設計法の開発

Development of a Structural Limit Strength Design Method Using Ductile Fracture Simulation

●石田 浩 修* 真 坂 英 次*
Hironobu ISHIDA Hidetsugu MASAKA



つり手の強度解析
A strength analysis of a hanger

構造体の強度設計において、弾塑性有限要素法は車両の衝突事故などの際に、人命を守る構造の設計に有用な手法として広く使われている。また、塑性加工分野においては、塑性加工品質などを予測するのに不可欠な手法として広く利用されている。近年、塑性加工分野において成形限界を予測する手法として、延性破壊条件式を援用した弾塑性有限要素法の試みが行われている。しかし、材料の種類や変形条件などによって破壊の様式がさまざまであり、現在でも延性破壊式は確立されていないのが現状である。ただ、変形様式がそれほど複雑でなく、延性破壊強度を知ることが重要なつり手の塑性設計には使えるのではないかと考え、実験および解析の両面から検証したので報告する。

As for strength design of a structure, elastoplastic finite element analysis is widely used as a useful method to design a structure that can protect lives even in case of incidents like vehicle collision. In a field of plastic working, this analysis is commonly used as an essential method to estimate quality of plastic formed products. Recently, the method combining criterion for ductile fracture has been tested in order to calculate a forming limit in a field of the plastic working. The ductile fracture criterion, however, presently has not been established yet because fracture mode varies, depending on conditions, including the type of material and loading condition. It was expected that the elastoplastic finite element analysis with the ductile fracture criterion could be used for plastic design of a hanger since that is the case with which its deformation mode is not so complicated, but obtaining the data of ductile fracture strength is important. This paper reports on how to verify the case mentioned above by experiment and analysis.

1 まえがき

仮設つり手は、輸送の際に一時的に荷を吊り上げたり、下ろしたりする役目を果たす部品として荷に溶接して取り付けられ、輸送が完了し役目が終わると取り除かれる。本報が対象とするのは、このように一時的に使用されるつり手であり、長期間使用することによる寿命の問題などは想定する必要が

ないものである。つり手はこれが破断して荷が落下したりすると大変な事故を招きかねないことから、今までは弾性域内での設計となっており、過剰な強度を持っていた。この設計のつり手は、溶接作業において時間と溶接金属量を過度に費すことになり非効率的であった。そこで多少の塑性変形は容認するが破断には至らせない限界設計法に関して検討を行った。

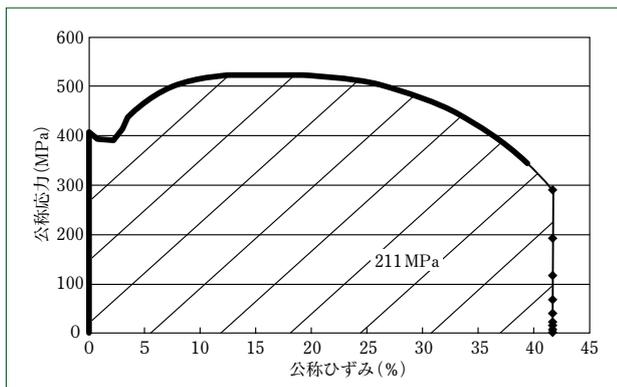


図1 材料データ (SM490Y)
Material data

塑性変形が絡む場合、一般的には複雑な大変形となること
が多く、従来の一様塑性変形を前提にしたような塑性設計法
では大きな仮定が入ることから高い精度の解析ができない。
そこで、塑性変形を計算する手法として通常の有限要素法
(FEM)の弾塑性解析を利用し、最終強度の計算には、塑性
加工の分野では成形限界を知るうえで数多く研究されてい
ながらも未確立である延性破壊条件式と組み合わせ、数値計算
上で検討を行った。

また、延性破壊条件式を採用した弾塑性FEM解析を用いた
つり手の限界強度設計に当たって、次の調査を行った。

- (1) 簡易的問題におけるメッシュサイズの影響および要素
種類の影響。
- (2) 実つり手における、吊り荷能力2.5t、30tのつり手に
対して実際の使用現場でのさまざまな変形状態を加味した
実験および計算による当方法の有効性。

延性破壊条件式についてはすでに提案されており^{(1)~(5)}、い
くつかの延性破壊式を用いて有効性の調査を実施したが、
つり手の破断の判断には大差なかった。よって本報では、
材料同定のパラメータが使いやすく、FEMとの相性もよい
Cockcroft & Lathamの延性破壊条件式に対して報告する。

2 解析方法

解析手法としては、静的問題に対して通常用いられる静的
陰解法でも計算はできるが、4章で示す実つり手の計算は接
触状態がかなり複雑で収束性に問題があったことから弾塑性
等方性静的陽解法(TP-Solver. Advanced 株式会社 トライ
アルパーク製)を用いた。

今回、材料としてSM490Yを用いたが、材料の引張試験を
実施すると図1のような曲線が描ける。引張り試験において
は、公称応力が最大(最大荷重点)になる変形までは試験片は
一様に変形し、さらに引張ると試験片にくびれが生じて局所
的変形を起こし、最終的には破断に至る⁽⁶⁾。一様変形範囲に
おいては非圧縮の仮定から

$$\sigma = (e^{\bar{\epsilon}} / A_0) F \dots \dots \dots (1)$$

F : 荷重
 A_0 : 変形前の試料標点の断面積
 $\bar{\epsilon}$: 真ひずみ

の関係が成立する。

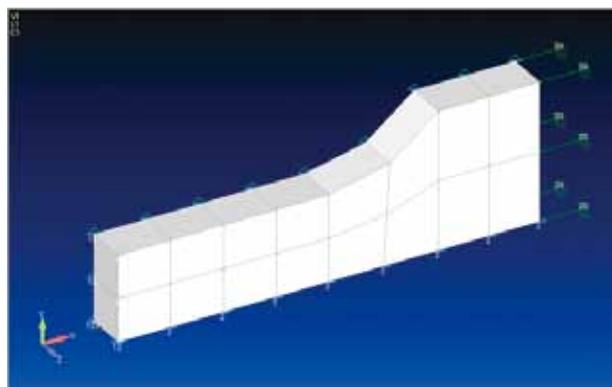


図2 簡易モデル (N=2)
Simple model

Cockcroft & Lathamの延性破壊式のパラメータの同定法
を説明する。

Cockcroft & Lathamの式

$$\int_0^{\bar{\epsilon}} \sigma_{\max} d\bar{\epsilon} > C \dots \dots \dots (2)$$

σ_{\max} : 最大主応力
 $\bar{\epsilon}$: 破断するときの真ひずみ

最大荷重点を超えた後は局所変形が生じて(1)式は成立し
なくなる。しかし、今回の目的は、精密に破断の応力を知る
ことではなく、塑性設計をすることなので、(1)式が破断に
至るまで成立するものと仮定した。

図1を横軸真ひずみ、縦軸真応力に書き換えたとき曲線の
下の面積が(2)式の意味するところであり、引張り試験から
得られた当面積は211MPaであった。すなわち、(2)式のC=
211MPaであり、(2)式の左辺(延性破壊値)が211MPaを超
えたとき材料は破断に至る。

最大荷重点から破断に至る変形は塑性不安定領域であり、
同じ材料であってもその素材の状況によっては必ずしも一
致するとは限らない。そのような意味から、今回閾値を
211MPaとしているが、これは十分な精度を持った数値でな
い。なお、荷重0から最大荷重点までは一様変形領域である
ので、破断はしなくとも塑性設計の閾値としてこの値を用
いた方がよいとも考えられる(この数値は84MPaであった)。
今回は破断を判断するにこの方法が正しいかどうかを検証す
るので、精度は不十分としてもC=211MPaを用いることにす
る。

3 簡易モデルにおける検証

3.1 メッシュサイズによる影響調査

引張試験片(JIS 5号試験片)の1/8計算モデルを用いて引
張りおよび曲げの変形状態に対して計算および検討を実施し
た。図2に、調査したモデルについてN=2の場合を示す。
ここでのNとは試験片幅方向の要素数である。メッシュサイ
ズの相違は相似的にを行い、N=2, 4, 8, 16, 30について
調査した。その結果、次のような結論を得た(図3 最も破壊
値が大きい要素の値をつないで表示)。

- ・延性破壊値は、局所変形が生じ始めると、メッシュサイ
ズの影響を受けるが、通常の塑性設計としてFEM解析
を使用する範囲においては、要素数を多く(メッシュサ

表1 実験条件
Experimental condition

呼び	つり手材質	試験体 No.	ロープの張力方向			
			β	図		α
30t	SM490Y	30t-①	90°		0°	
		30t-②	30°		10°	
		30t-③			20°	
		30t-④			30°	
2.5t		2.5t-①	90°		0°	
		2.5t-②	0°		90°	
		2.5t-③	30°		10°	
		2.5t-④			20°	

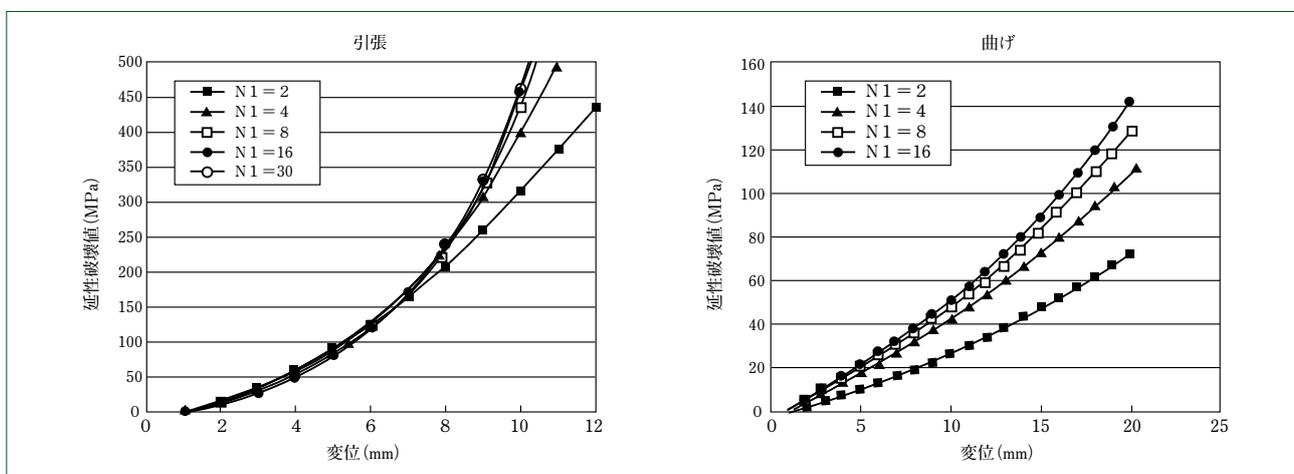


図3 引張および曲げにおける延性破壊値
Ductile fracture value of tension and bending

イズを細かく)することで延性破壊値は収束していき、応力集中のような特異性は持たない。

- ・ 局所変形が激しく、延性破壊値が破壊の閾値(破壊予測点)よりもかなり大きくなったような変形状態では延性破壊値の信用性は低い。

3.2 要素種類による影響調査

今回の解析ではソリッドを用いて評価を行った。ソリッドでは6面体および4面体がよく使用される。そこで、要素種類による影響として6面体1次ソリッド要素および4面体1次ソリッド要素について調査した。結果を次に示す。

- ・ 6面体1次ソリッド要素は妥当な結果を得る。
- ・ 4面体1次ソリッド要素は材料が固めに評価されることから、荷重が大きくなる。これは延性破壊以前にFEM解析でよく知られていることである。
- ・ 4面体1次ソリッド要素は、同じ場所においても要素の方向によって延性破壊値に違いが生じることから延性破壊のコンタにまだら模様が見られる。したがって、破断する位置が特定しにくいという問題が生じる可能性がある。

結論として、破断する可能性がある部分に関しては、できるだけ6面体要素でメッシュを作成するのが望ましいと言える。

4 つり手の塑性設計

つり手の塑性設計において、延性破壊条件式を援用した弾塑性FEM解析の有効性を検証すべく、定格が2.5t用のつり手と30t用つり手に対し実験検証を行った。

つり手は、面内・面外両方にさまざまな角度で荷重がかかる(使用法の規定はある)。表1に、実験条件を示す。できるだけ荷重が一定方向にかかるように、上部荷重点と試験片の接触点は十分に離す(図4)。荷重点間は単純引張り状態になるようにシャックルを複数挟むなど、回転拘束がかからないように注意した。つり手の傾きは、図5に示すように土台自体に傾きを持った治具を作成し、それにつり手を垂直に溶接することで実現している。荷重は破断に至るまで徐々にかけ、載荷中の荷重と変位の関係をモニタリングした。解析は、実験とほぼ同等な条件になるように強制変位をかける剛棒と試験体の間に、実験と同じようにシャックルを1つ挟み込むことで無理に回転拘束がかからないようにモデル化を行った(図6)。

4.1 定格30t①(面外曲げなし、面内方向90°)の荷重比較(図7)

実験の曲線がひずみがかかった状態から荷重0に戻ってい

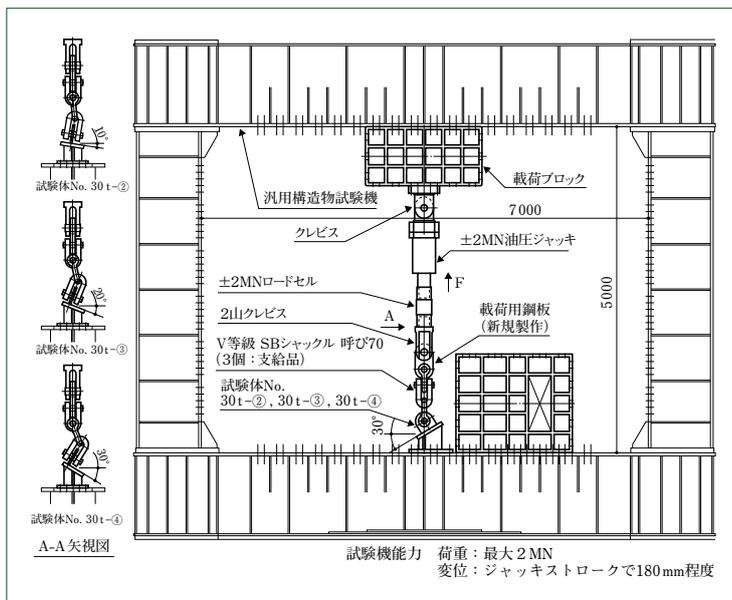


図4 実験装置
Experimental apparatus



図5 試験体例 30t④
Test body example

るが、これは実験の際に途中で荷重を落として変形状態を詳細に観察したことによる(図8および図9に関しても同様)。荷重と変位の関係は、比較的一致していることがわかる。図7(b)は変位と延性破壊値、すなわち(2)式の左辺を計算した結果である。この計算方法は、まず要素ごとに応力およびひずみを計算し、(2)式の値を計算する。この値が大きいものから100個の要素を選んでプロットすることでグラフ化している。この値が大きいところから破断すると考えられる。図中の赤線は破断に至ると考えている(2)式の右辺である211MPaを表し、この値を超えたところで破断すると判断できる。図7(b)から、破断時の変位は実験で111mm、計算で45mmであることが分かる。計算の方がかなり小さいところで破断に至っている。

破断荷重は、実験で1639kN、計算で1477kNであり、誤差を(計算値-実験値)/実験値×100%で計算すると、-9.9%である。図7(c)は破断するとみなされる変位111mmにおける実験と、計算上の変形の状態を比較したものである。計算の図のコンタは延性破壊値を示しており、延性破壊値の大きな部分は荷重方向の吊り穴下部の内側部分である。実験でもその部分から破断に至っており、破断位置に関してはよく予測できていることが分かる。

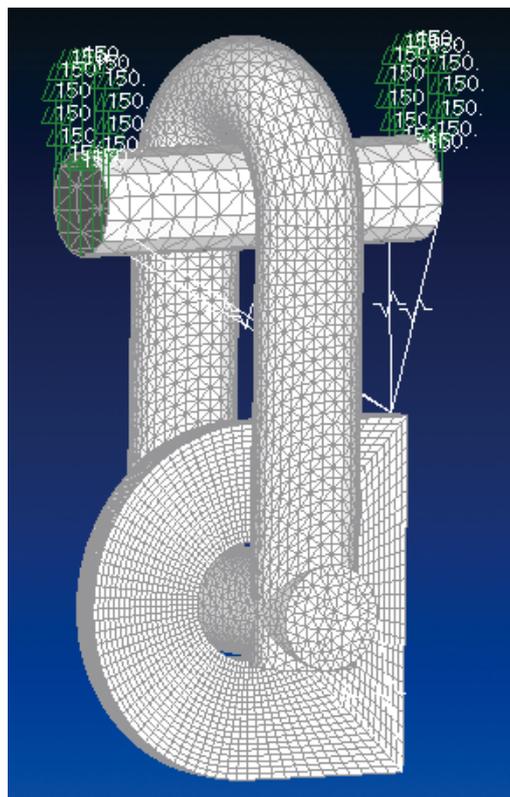


図6 解析モデル 試験体30t①
Analysis model

4.2 30t③(面外曲げ 20°, 面内方向 30°)の荷重比較

変形は主に2段階で起きており、初期段階では面外方向に支配的に曲げが生じ、次に引張り状態が支配的になって、ついには破断に至る。図8(c)に示すように、予測破断位置は30t①と同様に荷重方向の吊り穴下部の内側部分であり、実験と合致している。30t①と異なる点は、面外曲げがあることから、図8(b)に示すように、溶接下端部において延性破壊値に大きな部分が出現していることである。ただし、この領域の延性破壊値は、変形初期における曲げ変形段階で急激に増加するが、引張り変形段階に入るとあまり増加しなくなる。

一方、引張り段階では吊り穴内側の延性破壊が着実に進むことから結局この部分で破断が生じる。荷重と変位の関係を計算および実験で比較し(図8(d))、結果を表2に示す。

4.3 30t④(面外曲げ 30°, 面内方向 30°)の荷重比較

変形から破断に至るメカニズムは30t③と同様である。すなわち、初期に曲げ変形が、次に吊り穴内側の引張り変形が支配的に生じる。30t④の場合は、曲げ変形が大きいことから曲げ変形段階で延性破壊値を超え、溶接下端部において破断が生じていることが図9(b),(c)から分かり、実験の状態を計算上で予測できている。

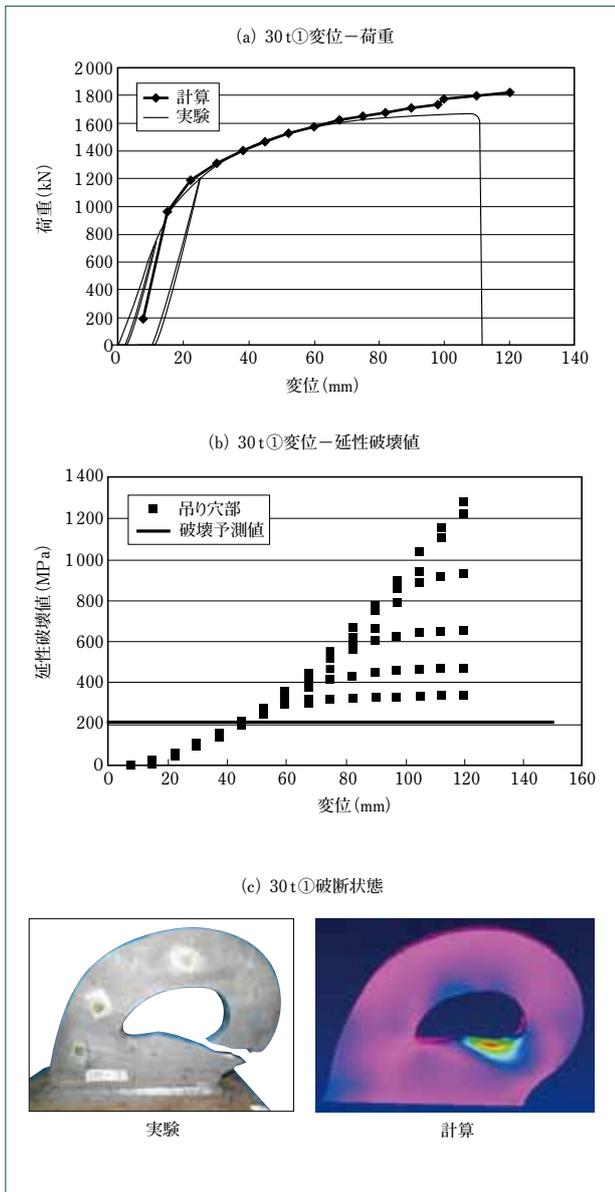


図7 30t①の実験および解析結果
Experimental and analysis results for 30t①

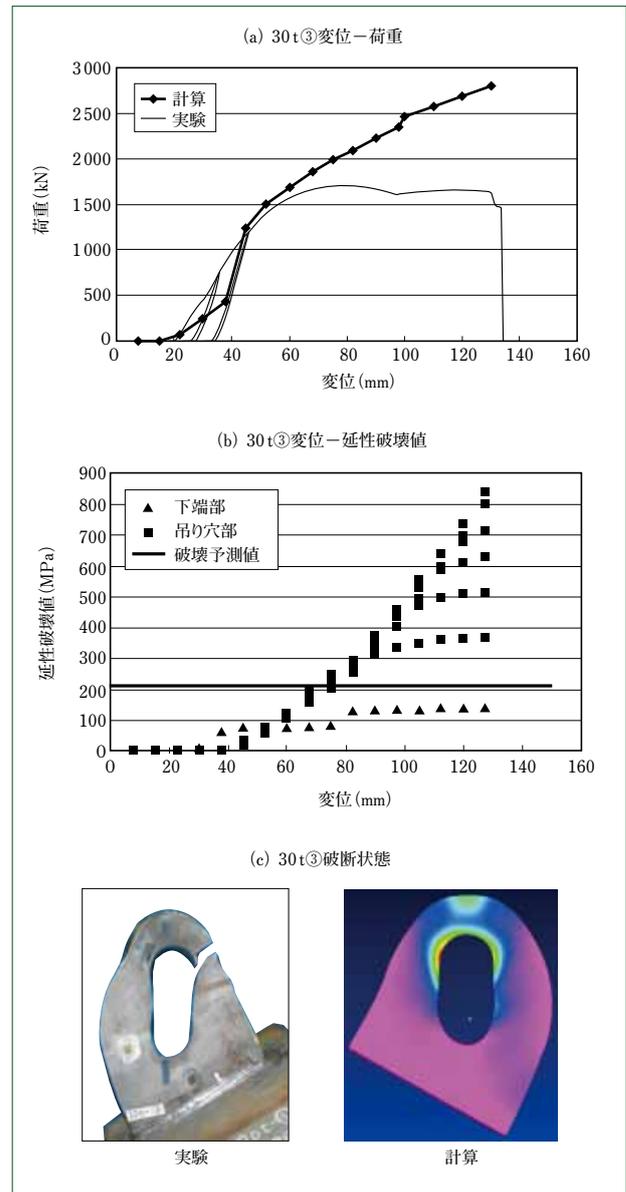


図8 30t③の実験および解析結果
Experimental and analysis results for 30t③

4.4 2.5t②(面外曲げ 90°, 面内方向 0°)の荷重比較

極端に曲げがかかることから溶接下端部から破断が起きることは予測できその通りの結果を得た(図10)が、実験での破断荷重は計算上の予測値よりもかなり小さな値になっている(表2)。その理由として、曲げ変形の際にシャックルがつり手部材と土台の間に入り込んで曲げ変形が拘束されてしまったことや、溶接部がつり手の大きさに比べてかなり大きく溶接されており、これによって曲げ変形が拘束されたことなどが考えられる。

2.5t, 30tつり手の結果から、総合的に考察すると、つり手においては主に2箇所破断する位置が存在しており、1つは面内方向において荷吊り穴の面内荷重がかかる方向の下部、もう1つが面外曲げ荷重の反対側の溶接下端部である。面外の曲げが強い場合には、この作用による破壊効果の方が速く進行することから、溶接下端部が吊り穴からの破断に先んじて起きる。面外曲げに耐えて破断に至らない場合、徐々に延性破壊が進む吊り穴で破断する。今回の結果から、吊り穴から先に破断するか溶接下端部から破断するかの閾値は、面外

曲げ20°から30°の間にあるものと考えられる。面外曲げでの破断の場合、吊り穴からの破断に比べて伸びが少なく破断の兆候がつかみにくいことから、激しく面外曲げをかける使い方は避けるべきであると考えられる。

- また、破断荷重や変位に誤差が生じる原因としては、
- ・ 閾値を算出する引張り試験において、最大荷重を超えて局所的変形が起きた場合の考慮を特にしていない。
 - ・ 計算における材料データのカーブは、実際は最大荷重点を超えると負の傾きになるが、計算では負の傾きを入れられないことから近似的に傾きを入れている。
 - ・ 摩擦係数を0としている。
- などがあげられる。

破断荷重や、特に変位において誤差が生じているが、破断位置の予測がほぼ完全にできている点や、塑性変形での破壊予測は安全率を十分に見て設計することを考えると、当手法が塑性設計に使えるレベルにはあると考えられる。

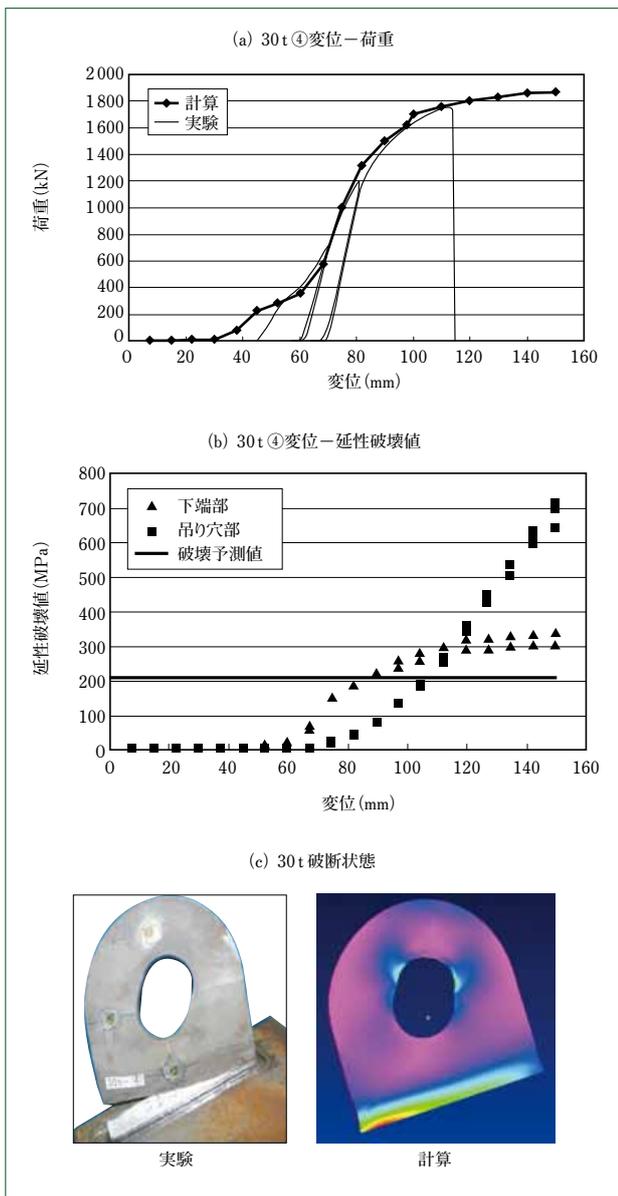


図9 30t④の実験および解析結果
Experimental and analysis results for 30t④

5 むすび

- (1) 今回実験した範囲において、破断する位置はすべて予測できていた。
- (2) 破断荷重推定精度は±20%程度であるので、精密な延性破壊予測を望む分野においては使用できないが、安全率を考慮して余裕のある設計をするつり手のような塑性設計においては十分な精度を有していると考えられる。
- (3) 破断に至るまでの変位精度は十分ではないが、塑性設計に使用する場合には破断するときの荷重が重要であるので問題はないと考える。
- (4) 今回、つり手を対象に延性破壊シミュレーションを用いた限界強度設計の有効性を示したが、つり手に限らず、一発破壊強度の予測が必要な構造体の設計や、破断まで考慮した精度良い衝突解析などに、当手法が有効と考えられる。

表2 実験つり手(30t, 2.5t)に対する結果まとめ
Summary of experimental and analysis results for 30t and 2.5t hanger

実験条件	実験での破断時荷重 (kN)	計算での破断時荷重 (kN)	誤差 (%)	実験での破断時変位 (mm)	計算での破断時変位 (mm)	誤差 (%)
30t①	1639	1477	-9.9	111	45	-59.5
30t②	1585	1850	16.7	109	50	-54.1
30t③	1632	1930	18.3	130	72	-44.6
30t④	1748	1410	-19.3	114	86	-24.6
2.5t①	237	211	-11.0	38	21	-44.7
2.5t②	270	75	-72.2	142	110	-22.5
2.5t③	267	272	1.8	42	28	-33.3
2.5t④	269	270	0.4	48	33	-31.3

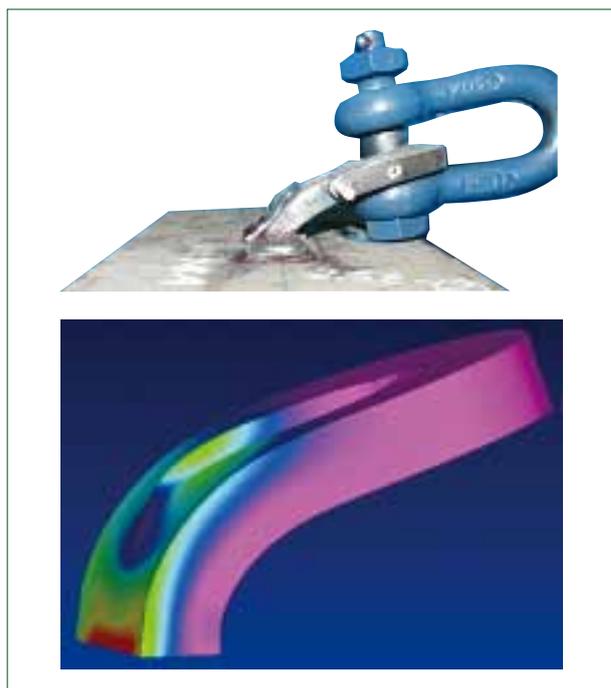


図10 2.5t② 破断状態
Fracture state

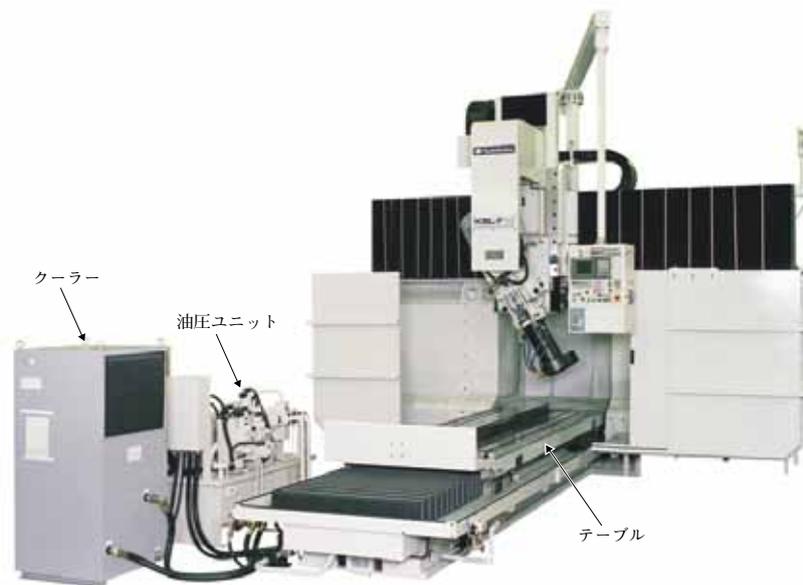
(参考文献)

- (1) M.G. Cockcroft and D.J. Latham, Journal of Institute of Metals, 96, 1968, p.33-39.
- (2) 大矢根守哉, 日本機械学会誌, 75, 1972, p.596-601.
- (3) A.L. Gurson, Transaction of the ASME Journal of Engineering Materials and Technology, 99, 1977, p.2-15.
- (4) V. Tvergaard, International Journal of Solid and Structures, 18, 1982, p.659-672.
- (5) 延性材料の破壊予測, 日本塑性加工学会, 第278回塑性加工シンポジウム.
- (6) 小坂田宏造著, 応用塑性力学, 2004, 培風館.

平面研削盤テーブル駆動の省エネルギー化と振動低減

Energy Conservation and Vibration Reduction on the Table Driving of Surface Grinding Machines

● 小木曾 太郎* 塚根 浩一郎*
Taro OGISO Koichiro TSUKANE



回転数制御を適用した平面研削盤KSL-F
KSL-F series, surface grinding machine with pump rotational speed control applied

ポンプ回転数制御は、高効率な油圧システムを実現するうえで有効な手段の一つである。DDV(Direct Drive Volume)方式は、閉回路構成をとり、制御弁が不要であることから、省エネルギー化には特に有利な方式である。回路構成が単純でリザーバ容量も小さく済むことから、油圧ユニットの小形化が可能である。さらに圧損による作動油の発熱が小さくなることで、クーラーの小形化が可能である。本報は、DDV方式による平面研削盤のテーブル駆動についての報告である。このテーブル駆動系は、大慣性と大圧縮容積であることから固有振動数が低い。さらに閉回路であることから圧損や背圧に起因する減衰性も低い。そこでテーブル駆動系の動特性を分析し、フィードバック制御による減衰性の改善を図った。具体的にはコントローラに加速度フィードバックを実装した。また実験によって、加速度フィードバックによる良好な速度安定性とエネルギー消費量が従来比50%未満になることを確認した。配管を適切に設計すれば、エネルギー消費量は従来比70%以上の低減になるものと予想される。課題としては、加速度フィードバックゲインを制限する配管共振への対策があげられる。

Rotational speed control is an effective means to improve the efficiency of hydraulic systems. Since DDV(Direct Drive Volume)control method, which is inherently of closed circuit, does not require any control valves, it is especially advantageous for lowering energy consumption. Simple and closed hydraulic circuit of DDV control systems can make the reservoir size smaller and reduce the heat generation associated with pressure drop of working fluid. For these reasons, downsizing hydraulic units and cooling devices are possible. In this paper, we have applied DDV control to the table driving of surface grinding machines. With large inertia and long stroke, this system shows low natural frequency. And in closed circuits, damping effects due to pressure drop and/or back-pressure are small. Therefore we have tried to improve the damping characteristics of the table driving system with model-based feedback control. In the actual case, an acceleration feedback is used in the table controller. Realized system has shown excellent settling characteristics at the time of table turning. The energy consumption has been reduced to less than 50% compared to the conventional system. A further optimization of piping design will allow to cut it down to 30% level or less of the existing system. One of next challenges is to deal with piping resonance which restricts the acceleration feedback gain.

1 まえがき

固定ポンプを用いる従来の油圧システムは、負荷側とのパワーマッチングを図ることが困難であり、エネルギー効率が低いとされてきた。油圧システムのエネルギー効率を高める

効果的な手段にポンプ回転数制御¹⁾がある。これはインバータ制御によって負荷状態に応じたポンプ運転を行うもので、駆動が不要な場合はポンプを停止させることも可能である。ポンプ回転数制御のなかでも、双方向吐出ポンプを用いて油圧回路を閉回路化するDDV方式は、制御弁が不要であり背圧

表1 KSL-F1530の仕様
Specifications of KSL-F1530

テーブル作業面の幅/長さ	1500/3000mm
テーブル最大移動距離	4200mm
テーブル送り速度の範囲	4-35m/min
最大ワーク質量	9000kg

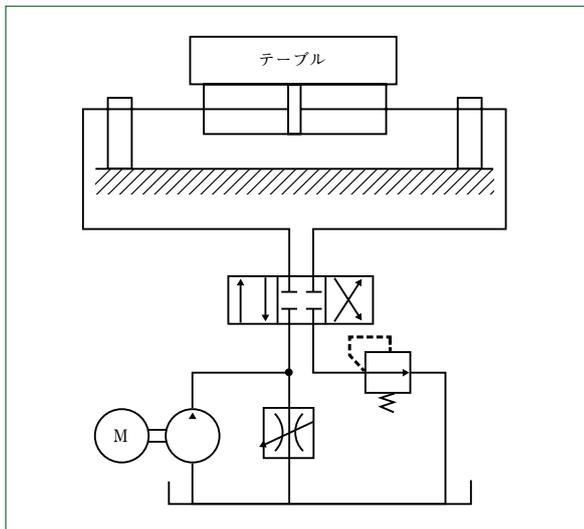


図1 従来のテーブル駆動用油圧システム
Conventional hydraulic system for table driving

表2 実験条件
Experimental conditions

ストローク	2500mm
ワーク質量	4000kg

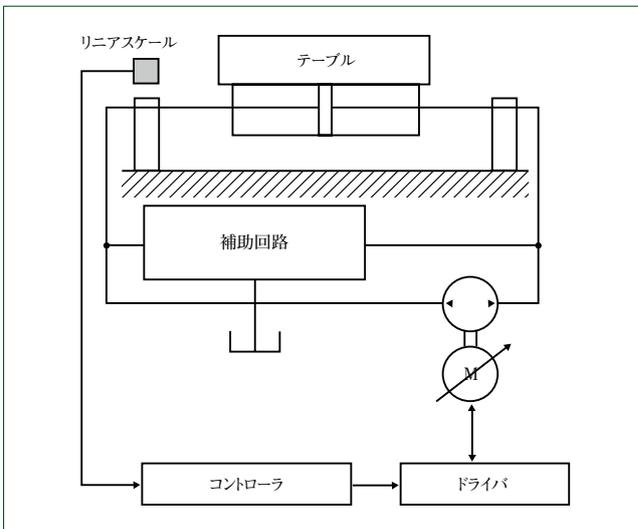


図2 DDV方式によるテーブル駆動用油圧システム
DDV control system for table driving

を陽に利用しない。高効率化には特に有利な方式であるうえ、回路構成が単純でリザーバ容量も小さく済むことから、油圧ユニットの小形化が可能である。また、圧損による作動油の発熱が小さくなるので、クーラーの小形化も期待できる。

本報では、住友重機械ファインテック株式会社の門形平面研削盤KSL-Fのテーブル駆動系にDDVを適用した結果⁽²⁾について報告する。このテーブル駆動系は、最大ワーク質量9000kg、ストローク4.2m、管路長20mと大慣性かつ大圧縮容積であることから、固有振動数が低い。また閉回路化したことにより、圧損が小さくなり減衰性も低下した。そこでフィードバック制御による減衰性の改善を図った。具体的にはコントローラに加速度フィードバックを実装した。実験によってフィードバック制御が反転時の振動低減に有効であることと、エネルギー消費量が従来比1/2以下になることを確認した。

2 平面研削盤

2.1 仕様

表1に、DDVを実際に適用したKSL-F1530の主な仕様を示す。

2.2 従来方式のテーブル駆動

図1に、従来のテーブル駆動に用いられるブリードオフ回路の概略を示す。アクチュエータは両ロッド復動シリンダである。ロッド両端はベッドに固定され、シリンダがテーブルに固定されている。シリンダに供給される流量はポンプ吐出流量とブリード流量との差となるので、テーブル速度はブリード流量によって調節する。所定の反転位置で切換弁を切り換えることでテーブルを往復運動させる。

2.3 DDV方式のテーブル駆動

図2に、DDVを適用したテーブル駆動システムの概略を示

す。双方向吐出ポンプをサーボモータで直接駆動することから、シリンダに供給される流量はモータ速度、すなわちポンプ回転数に比例する。したがってテーブル速度をポンプ回転数によって直接制御することが可能である。補助回路には回路圧力を安全な圧力に制限するリリーフ弁と、タンクから閉回路内に作動油を吸入するチェック弁を設けた。コントローラはテーブルの軌道生成を行い、生成した軌道とリニアスケールが検出したテーブル変位にもとづいて、ポンプ回転数の指令値を演算する。ドライバはポンプ回転数が指令値に追従するようにサーボモータを制御する。

3 制御系の検討

3.1 テーブル駆動系の周波数特性

テーブルの運動方程式とシリンダ圧力室内の作動油の式をシリンダストローク中心で線形化すると、流量 q からテーブル速度 v までの伝達関数は2次系遅れ系となる。ポンプの押しつけ容積を W_p 、回転数を ω_p とすれば $q=W_p\omega_p$ となり、制御モデルとして(1)式を得る。

$$G(s) = \frac{v}{\omega_p} = \frac{k_n \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta_n \omega_n s + \omega_n^2} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、

$$k_n = \frac{W_p}{A}, \omega_n = \sqrt{\frac{2A^2K}{MV_0}}, \zeta_n = \sqrt{\frac{B^2V_0}{8MA^2K}}$$

A : ピストン受圧面積

B : 粘性摩擦係数

K : 作動油の体積弾性係数

M : 可動質量

V₀ : ストローク中心における圧縮容積

静止摩擦力の影響から v の周波数応答を計測することが困

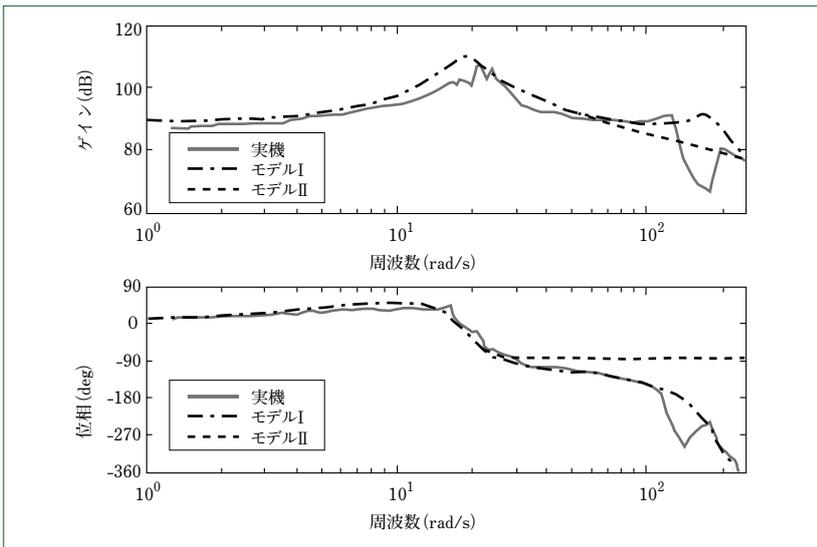


図3 テーブル駆動システムの周波数応答
Frequency responses of table driving system

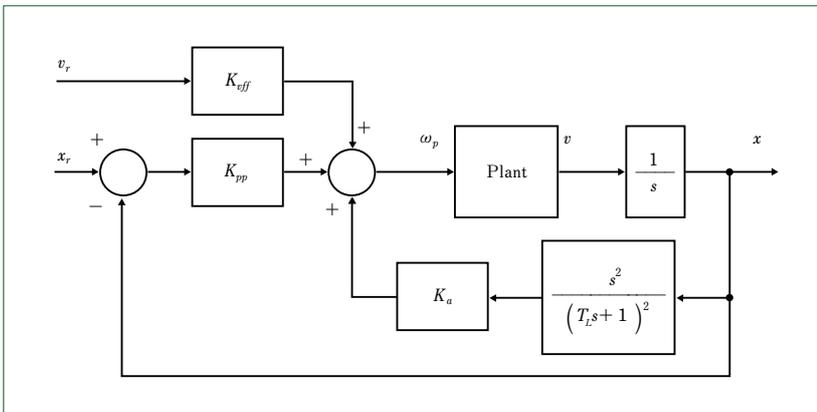


図4 制御系のブロック線図
Block diagram of control system

難であったことから、 ω_p から差圧 ΔP の周波数応答を計測した。

ω_p から ΔP までの伝達関数は

$$P(s) = \frac{\Delta P}{\omega_p} = \frac{k_n \omega_n^2 (Ms+B)}{A(s^2 + 2\zeta_n \omega_n s + \omega_n^2)} \dots\dots\dots (2)$$

となる。図3に、実機、管路共振と管路長を音速で除したむだ時間を含むモデルIおよび式(2)で表されるモデルIIの周波数応答を示す。実機の周波数応答には130 rad/s近傍に零点が認められる。これは圧力室間の容積差によって生じたものである。モデルIは、シリンダストローク中心で線形化しているので、零点を再現できていない。しかしながら、位相遅れは250 rad/s程度までよく一致している。モデルIIの周波数応答の計算において、 M は実機計測時のワーク質量に合わせ、 V_0 には管路容積を含めた。 B は実機の位相特性に一致するように調整した。固有振動数 ω_n 近傍の周波数特性はよく一致している。このとき $\zeta_n=0.13$ と低い値を示したことで、フィードバック制御による改善を検討した。

3.2 制御系設計

テーブル速度指令 v_r から必要なポンプ回転数を得るには、ゲイン $K_{eff}=1/k_n$ を乗じればよい。減衰係数を ζ_n から所望の

値 ζ_c に改善するには(1)式より、テーブル加速度をフィードバックすればよい。加速度ゲイン K_a の計算式は

$$K_a = - \frac{2(\zeta_c - \zeta_n)}{k_n \omega_n} \dots\dots\dots (3)$$

となる。テーブル加速度はテーブル変位 x の2階擬似微分値とした。さらに速度偏差を補償すべく位置偏差 x_r-x に比例ゲイン K_{pp} を乗じる位置ループを付加した。所望の積分時定数を T_i とすると、 $K_{pp}=1/(k_n T_i)$ となる。以上をまとめると図4のような制御系となる。ここで T_L は擬似微分の時定数である。

4 実験結果および考察

4.1 実験方法

表2に示す条件でテーブル駆動実験を行ったところ、テーブルの運動特性とエネルギー消費量について次のような結果が得られた。

4.2 運動性能

図5に、DDVによるテーブル往復運動の結果を示す。図5(a)はオープン制御($K_{pp}=0, K_a=0$)の場合の結果である。反転時に生じた振動の減衰性は低く、研削加工への支障が懸念される。さらにテーブル速度は指令値に対して定常偏差を生じた。図5(b)は位置ループと加速度フィードバックによ

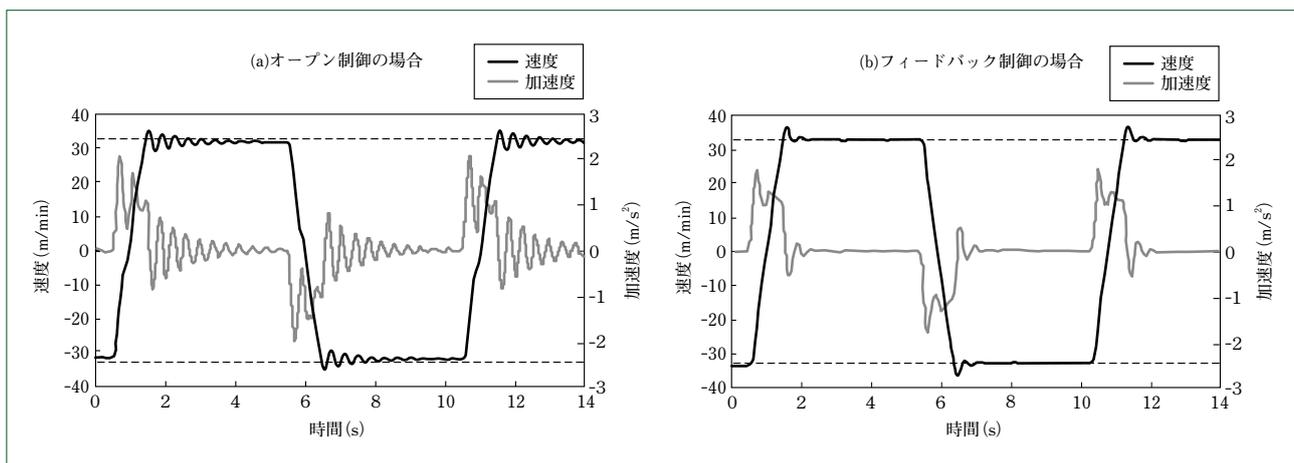


図5 テーブルの往復運動実験の結果
Experimental results for table motion

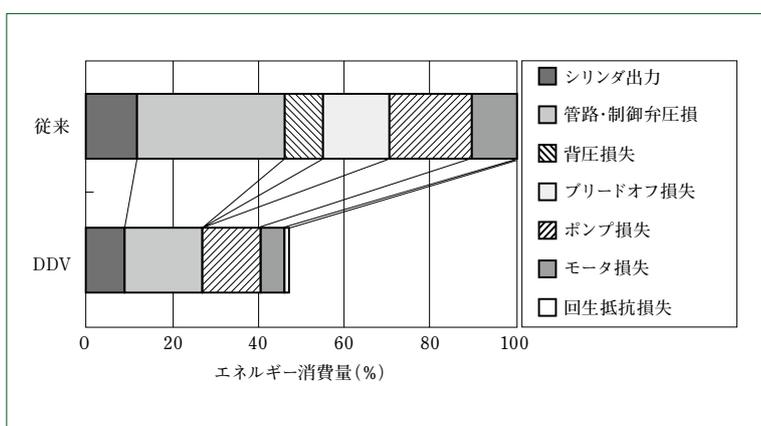


図6 エネルギー消費量の比較(1ストローク当たり)
Comparison of energy consumption at one stroke

るフィードバック制御を行った場合の結果である。反転時の振動が抑えられており、良好な速度安定性を示している。テーブル速度も指令値にほぼ一致した。平面研削盤のテーブル反転において速度安定性が良いことは、1ストローク中で研削加工可能な区間の割合が高いことを意味する。

4.3 エネルギー消費量

図5(b)の場合と、同等の駆動条件下での従来のブリードオフ回路によるテーブル駆動とで、ストローク当たりのエネルギー消費量を比較した。図6は、従来のエネルギー消費量を100%として、エネルギー消費の内訳を分析したものである。DDVでは従来比53%減となり、大きな省エネルギー効果を確認した。

DDVにおいては背圧およびブリードオフ損失は0である。駆動圧が抑えられたことで、シリンダ出力も小さくすることができた。管路および制御弁の圧損は、従来ほとんどが弁損失であったと考えられる。DDVの場合は、一部に従来よりも細い径の配管を使用している。流量から圧損を見積もると、損失の大部分はこの細い配管で生じていることが分かった。仮に全配管を従来と同じ径にしていたら、エネルギー消費量は70%減になったと推定される。ただし、管路圧損の低減は ζ_n の低下につながると考えられるが、 K_a は管路特性による制限を受ける。エネルギー効率の向上と良好な速度安定性とを両立させるには、安定化補償や管路長短縮などの管路共振対策が必要である。

5 むすび

- (1) 大慣性、長ストロークの油圧システムにDDV方式の回転数制御を適用した。
- (2) 閉回路油圧の減衰性を改善すべく加速度フィードバック制御を実装し、反転時の振動低減への有効性を実験によって確認した。
- (3) エネルギー消費量が従来比1/2以下になることを実験によって確認した。
- (4) 今後の課題として管路共振への対策があげられる。

(参考文献)

- (1) 大場孝一, サーボモータ駆動油圧ポンプとその制御, フルードパワーシステム, 41-4, p.192~195, 2010 など。
- (2) 小木曾太郎, 寺田真司, 塚根浩一郎, 平面研削盤の油圧式テーブルに対する回転数制御の適用, 平成24年春季フルードパワーシステム講演会, 2012。

全電動射出成形機SE-EVシリーズ

All Electric Injection Molding Machine SE-EV Series

●横山 拓*
Taku YOKOYAMA



SE100EV

2011年10月に開催されたIPF2011にて正式リリースされた住友全電動射出成形機SE-EVシリーズ(型締力500~1800kN)の特長について報告する。

SE-EV機は、1世代前の全電動機SE-DUZから装備された画期的な成形プロセスZero-moldingをさらに進化させるべく開発された。成形工場の生産性向上を阻害する3つの問題である「不良」, 「無駄」および「面倒・失敗」をゼロに近付けること、これがZero-moldingのコンセプトであるが、SE-EV機によってさらにその実現性を高めることが可能となった。その特長は、「精密・安定成形性の向上」, 「環境対応の進化」および「操作性向上」の3点である。

今後経済的な不透明感がさらに増大していく中で、SE-EV機はその特長を生かし、顧客の生産性向上に役立ってくれるものと期待している。

This paper reports on features of SE-EV series of all electric injection molding machine (clamping force 500-1800kN) that was officially released at IPF2011 held in October, 2011. SHI has developed SE-EV by making further innovation on the epoch-making molding process, "Zero-molding", which was built into a previous-generation machines of SE-DUZ. A concept of the Zero-molding is to reduce occurrences of "Defects" "Loss" and "Faults" to as near-zero as possible. These are the three hindrances from improvement of molding plants' productivity, but SE-EV allows us to enhance feasibility of the concept realization. SE-EV has three features: higher level of the "precise and stable molding", "environmental compatibility" and "operability". While there would be growing economic uncertainty ahead of us, it is keenly anticipated that by taking advantages of these features, SE-EV will serve our customers to improve their productivity.

1 まえがき

リーマンショック以降、成形業界を取り巻く環境は、はなはだ厳しい。デジタル機器関連では液晶テレビや、携帯電話およびデジタルカメラなどの頻繁なモデルチェンジと急激な価格下落、自動車関連では新興国での需要増大に対応する新興国仕様の低価格車開発および超円高による海外生産シフトの加速など、経済環境の大きな変化に対応すべく技術対応力とコスト競争力を常に高めていかなければいけない。さらに東日本大震災の影響で省エネルギーをはじめとする環境対応がますます求められている。

当社は、このような厳しい経済環境に顧客が立ち向かう一助となるべく、全電動射出成形機SE-EVシリーズ(型締力500~1800kN)を開発し、昨年開催されたIPF2011や海外展示会(NPE2012, ChinaPlas2012など)にて発表の後、販売を

開始した。本報ではSE-EVシリーズの特長について紹介する。

2 SE-EVシリーズの開発コンセプト

当社がIPF2008において発表したSE-DUZシリーズに搭載した画期的な成形プロセスが、Zero-moldingである。成形の生産現場では、不良(Defects)、無駄(Loss)および面倒・失敗(Faults)という不安定要素が常に発生し、成形品品質や生産性を低下させる要因になっている。この3つの不安定要素を限りなくゼロに近づけ、成形現場の生産性を高めることがZero-moldingのコンセプトである。

Zero-moldingを搭載したSE-DUZには、顧客から充填パランスの改善、金型寿命の延長、成形条件幅の拡大および成形条件のシンプル化などの効果があったとの声が寄せられている。SE-EVではZero-moldingの可能性や効果をさらに引き出

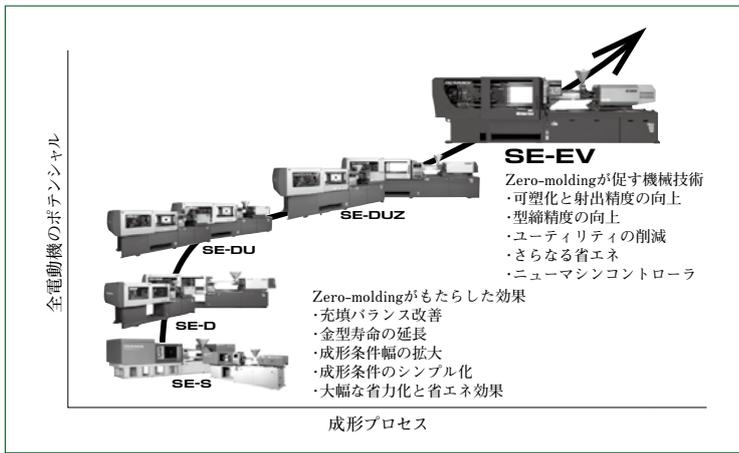


図1 住友全電動成形機の進化
Evolution of Sumitomo all electric injection molding machines

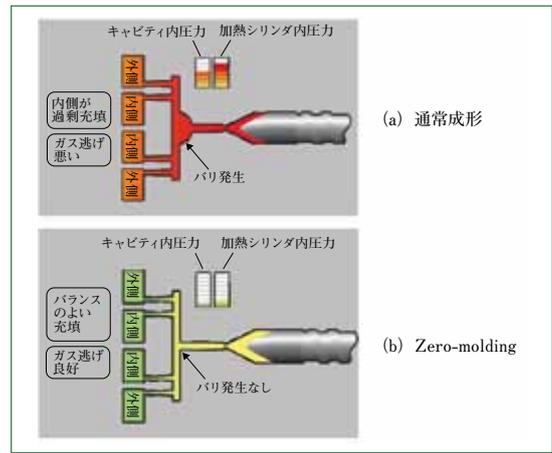


図2 Zero-molding成形
Zero-molding

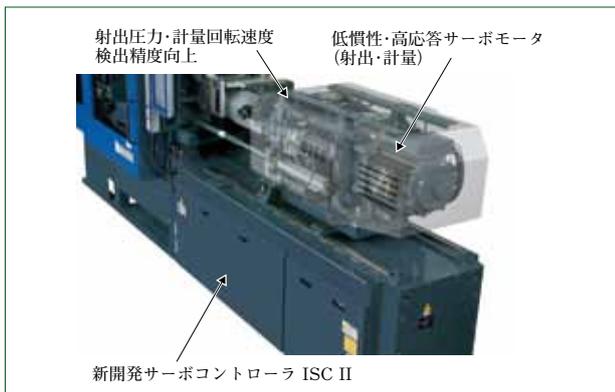


図3 SE-EV射出・計量装置
SE-EV injection unit

すべく、そのコンセプトに沿って機械性能を進化させた(図1)。SE-EVという機種名は「Evolution(進化)」からとっている⁽¹⁾。

3 Zero-molding とは

Zero-moldingの代表的な機能であるFFC (Flow Front Control) について述べる。

粘弾性材料である樹脂が充填されるときに、圧縮の問題は避けて通れない。Zero-moldingシステムを搭載した機械では、射出と保圧の工程間にフラッシュ動作という工程を設けている。この工程は、射出により圧縮された樹脂が自身の力で充填できるように、射出動作に制限をかける。Zero-molding成形では、内側2個のキャビティが充填された時点でフラッシュ制御を使えば、外側2個のキャビティはノズルからスプルおよびランナ部で圧縮された樹脂の残圧で充填できる。過剰な樹脂圧力が金型内に付加されないの、すでに樹脂が充填されている内側2個のキャビティには余分な樹脂が充填されずバリが発生しない(図2)。充填不足となっている外側のキャビティには適切な量の樹脂を充填することができる。製品部を低圧で充填できれば、ランナ圧やスクリュ圧は製品からの圧力損失の積み重ねであるので、これらも低圧にすることができる⁽²⁾。システム全体の充填圧力を低下でき、金型を締めつける力(型締力)も低減できる。型締力が下がれば、金型内のガス逃げも良好になり、転写不良も低減できる。このように、フラッシュ制御を使い樹脂流動先端部(フローフロント)を制御する成形機能をFlow Front Control (FFC)と呼ぶ。

なお、Zero-moldingの重要な機能としてMinimum Clamping Molding (MCM)と呼ばれる機能も装備されている。FFCの効果を引き出すには、可能な限り低型締力で成形する必要がある、MCMを活用することで、型タッチするのに必要な最低限の型締力が算出できる。この値を目標値として、バリを生じないレベルの低型締力を見つけていくことが可能である。FFCやMCMに代表されるZero-moldingの機能は、SE-EVシリーズに標準装備されている。

4 SE-EV シリーズの特長

SE-EVシリーズは、3つのベクトルをそれぞれ限りなくゼロに近づけるべく、それぞれ次に示す機械性能を進化させている。

- ① 不良(Defects)：精密・安定成形性の向上
- ② 無駄(Loss)：環境対応の進化
- ③ 面倒・失敗(Faults)：操作性向上

4.1 精密・安定成形性の向上

当社の全電動成形機は従来から、精密・安定成形性を向上させるべく、その射出・計量駆動系にダイレクトドライブシステムを採用している。モータとボールネジの間にベルトを介させない剛性の高いシステムで応答性・制御性に優れている。

SE-EVシリーズではダイレクトドライブシステムの制御性をさらに高めるべく、低慣性・高応答サーボモータ開発、射出圧力・計量回転速度検出精度向上およびサーボコントローラ(ISC II)を開発し、制御パフォーマンス向上と3つの策を実施している(図3)。その結果、最高射出速度350 mm/s到達まで20 msという高い射出速度応答性が得られた。

図4に、SE-EVの成形安定性が従来機より向上しているかを成形品(コイルボビン8個取り、PBT樹脂)により検証した結果を示す。1ショットでのキャビティ間のばらつきが従来成形法に比べてなくなっている。20個成形品質量を測定し、機種別(SE-DU, SE-DUZ)・キャビティ別ばらつきを比較した場合でも、2世代前のSE-DUに対し、Zero-moldingを搭載した1世代前のSE-DUZは、質量ばらつきが大幅に低減(=安定性が向上)しており、SE-EVではさらに10~50%低減していることがわかる。

SE-EVシリーズでは、可動プラテンサポート装置に高精度

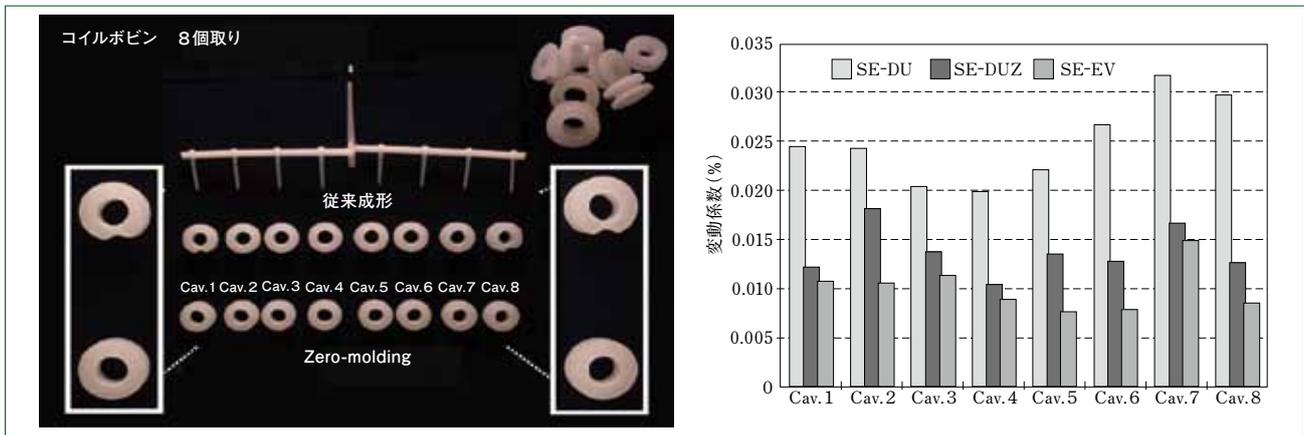


図4 成形安定性向上効果
Molding stability improvement effect

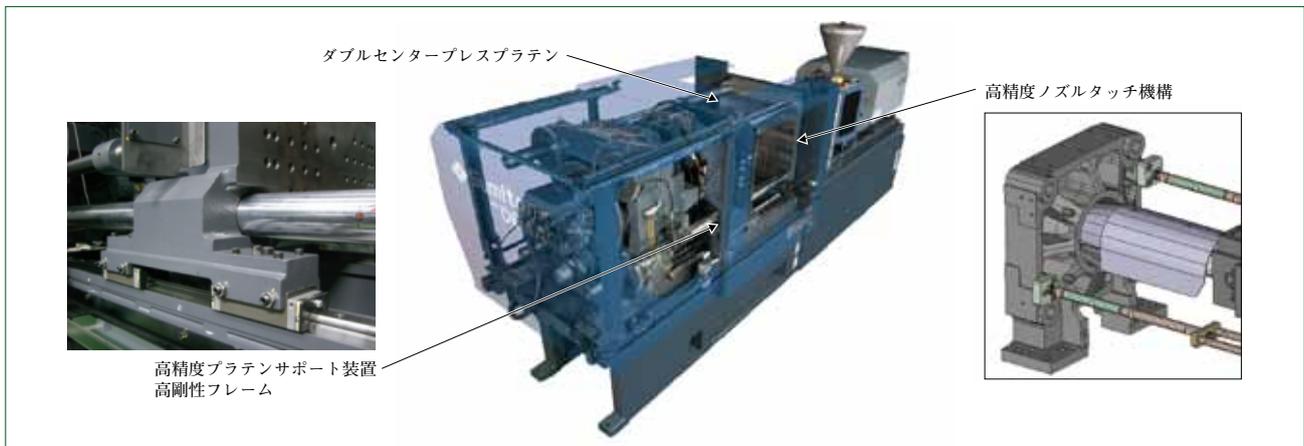


図5 SE-EV型締装置
SE-EV clamping unit

リニアガイドを採用し、それを支えるフレームの剛性も向上している。さらに、可塑化装置移動を2軸で行う高精度ノズルタッチ機構も標準装備し、ノズルタッチ時にノズルタッチ力により発生する固定プラテンの倒れを低減した。また、特別装備品としてダブルセンタープレスプラテンを選択することができる(図5)。図6に、型締装置の進化による型締時の金型内面圧均一性向上を示す。これは金型のパーティングラインに感圧紙を挟んで型締し、感圧紙の面圧分布を画像処理して表示したものである。面内の色の差が少ないほど金型内の面圧は均一であると言える。金型内の面圧が均一となったことで、Zero-moldingのFFC機能使用時に従来よりも精度良くキャビティバランスを整えることが可能となり、精密な成形品の多数個取り金型の成形を高い生産性で実現できる。

4.2 環境対応の進化

ユーザが直面する環境関連の要求(CO₂削減および逼迫した電力供給事情など)に対応すべく、SE-EVは環境性能を進化させた。

4.2.1 消費電力削減

図7に、成形中の成形機消費電力および従来機とSE-EVとの比較を示す。SE-EVの消費電力は、SE-DUZ(従来機)に対し成形中の消費電力が約15%削減されていることがわかる。この消費電力削減は、次の4点の改良により実現した。

- ① 駆動モータの低慣性化および摩擦抵抗低減によるエネルギーロスの削減

- ② 可動プラテンサポート装置へのリニアガイド採用による摩擦抵抗低減
- ③ 新設計トグルリンクによるロックアップ機能を用いた型締力保持に要するモータトルクの低減
- ④ 加熱シリンダの保温性能向上

4.2.2 潤滑用グリース使用量削減

SE-EVは、型締装置や射出・計量装置の摺動部に供給する潤滑用グリースの使用量を従来機に対し50%削減した。進行式と定量式の両方の長所を併せ持ったグリース給脂システムを開発し、さらにグリース給脂箇所の見直しと最適化を行った結果、大幅にグリース使用量を削減することができた。

4.2.3 成形機設置スペース低減(工場敷地の有効活用)

SE-EVは、従来機に対し機械全長を大幅に短縮し、成形機設置スペースを低減した。型締力1800kNの機械において、従来機の全長5700mmを約300mm短縮したことで、ユーザは工場敷地を有効活用できる。特にクリーンルームに成形機を設置する場合、より小さいクリーンルームに同じ台数を置くことができるので、省エネルギー効果が得られる。

4.3 操作性向上

SE-EVは新開発のマンマシンコントローラNC10を搭載し、従来機に比べその操作性を大幅に向上させた。NC10は15.1inchの大型フルタッチパネルを採用し、成形機操作に必要な情報の視認性を高めた。設定項目の入力は、数値を含めてすべてこのフルタッチパネル上で行えるようになり、入力

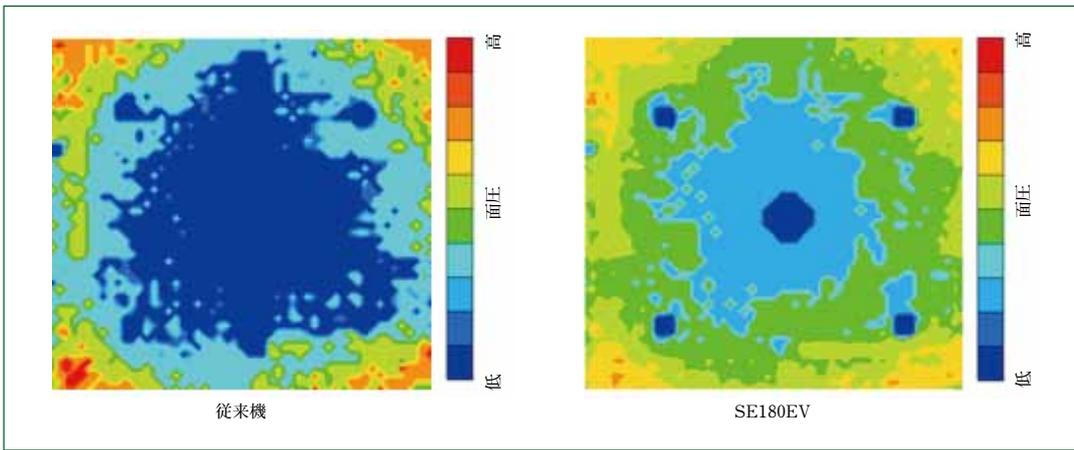


図6 金型面圧均一性の向上
Surface pressure uniformity improvement

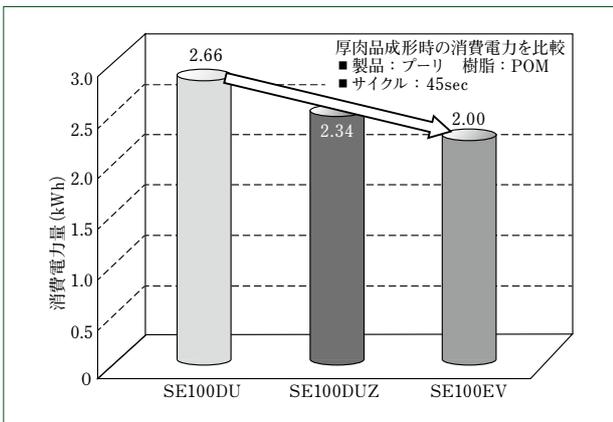


図7 消費電力削減
Reduction of power consumption



図8 NC10操作画面 カスタマイズ機能
NC10 operation screen & customization feature

中の視点移動が少なく、入力時間の短縮および入力ミスの防止につながっている。

NC10は、さまざまなユーザが自分の作業内容に最適な画面を選択できるよう複数の選択肢を用意している。図8に、その画面表示例を示す。オペレータ用画面では、表示項目を定常作業における必要最低限のものに絞っている。オペレータは行うべき作業を遅滞や迷いがなく実行できることから、操作時間が短縮される。画面がシンプルなので、新人オペレータの操作習得が容易になるという利点もある。また、ユーザが設定項目の画面表示/非表示を個別にカスタマイズできる機能が備わっている。さらに、変更されると成形品の品質に影響を及ぼす重要な設定項目については、オペレータが自由に操作できないように制限できる。エンジニア用画面では、すべての設定項目を表示し、変更することが可能である。これは新金型の成形条件調整や成形不良解決を目的とした条件の最適化および成形品良品率を向上させる成形条件の調整などの作業を、経験とスキルを持ったエンジニアが行うときに使用することを想定している。

エンジニアが通常成形時に行う一連の作業をSE-EVとSE-DUZ(従来機)で実行し、評価を行った。作業開始から完了までに行った画面タッチ回数、操作の遡回数、操作のガイダンス機能および成形機の稼働状態など必要な情報の検索容易性といったさまざまな面から評価し、それらを点数化して総合したものを操作性評価指数とした。SE-EVは操作性評価指数

が従来機より35%改善しているという結果を得た。

5 むすび

- (1) Zero-moldingとは、不良(Defects)、無駄(Loss)、面倒・失敗(Faults)を限りなくゼロに近付ける画期的な成形プロセスである。
- (2) SE-EVとは、Zero-moldingのコンセプトを実現すべく機械性能を進化させた全電動射出成形機である。
- (3) SE-EVの特長は、次の3つである。
 - ① 精密・安定成形性の向上
 - ② 環境対応の進化
 - ③ 操作性向上
- (4) 今後も引き続き不透明な経済環境を生き抜くべく、SE-EVが業界で幅広く活用され、成形現場の生産性改善に役立つことを期待している。

(参考文献)

- (1) 澤石裕之, 射出成形機のニューコンセプトを探る:住友全電動射出成形機「SE-EVシリーズ」,プラスチックエージ,2012年2月号。
- (2) 徳能竜一, 型内樹脂流動の確認方法およびZero-moldingによる流動制御,型技術,2011年8月号。

PET用薬剤製造システム

Production System for PET Tracers

● 日 朝 俊 一*
Toshikazu HIASA



サイクロトロン HM-20



自己シールド

図1 PET用サイクロトロン HM-20
PET cyclotron HM-20

1 はじめに

PET検査が臨床利用されるようになって10年が経過した。国内においてはFDG(フルオロデオキシグルコース)-PETの保険適用が全悪性腫瘍(早期胃癌を除く)に拡大され、総検査数は年間40万件に達すると言われている。さらに、PET診断では機能情報を画像化できるという大きな特長があることから、近年では、脳や心臓へ応用分野が広がるとともに、臨床診断から分子イメージング、新薬開発といった新たな領域での活用も期待されている。

当社は、PET創生期である1980年代からサイクロトロンをはじめとするPET用薬剤製造システムを製造販売してきた。PET薬剤を製造するには、

- ・ポジトロン核種の製造に必要な「サイクロトロン」
- ・ポジトロン核種で薬剤を標識させる「合成装置」
- ・製造過程での被曝低減や省力化を図る「周辺装置」

と、これらを配管接続した薬剤製造システムが必要になる。

当社では、PET診断の発展に伴いサイクロトロン、合成装置および周辺装置それぞれにおいて新たな技術や製品を生み出してきた。本報では、これら最新のPET薬剤合成システムとその技術について解説する。

2 サイクロトロン

サイクロトロンは、その使用目的に応じて求められる性能や仕様が異なる。FDGの院内製造を主とする場合、FDG以外の臨床研究および新しいポジトロン核種を用いた研究を行う場合、またFDGなど放射性薬剤の大量製造・配送を行う場合などさまざまである。当社では、最も広く使用されるポジトロン核種である ^{18}F の院内製造ができる非常にコンパクトな

小型機種から、多種類のポジトロン核種が製造でき、かつ製造量も多く得られる大型機種までラインナップしている(表1)。

2008年に開発したHM-20(図1)は、 ^{18}F の製造量においては世界最高レベルであり、製造できるポジトロン核種の種類も非常に多いことから、FDGの大量製造のみならず、新しいポジトロン核種を用いた最先端の研究に適している。また、サイクロトロンから発生する放射線を遮蔽するには、通常は分厚い建物壁(厚さ約2 m)が必要になるが、サイクロトロンの周囲を局部的に遮蔽する自己シールドの採用により、建物壁の厚さが大幅に軽減され、省スペースおよび建物コストの削減が可能となった。

3 合成装置

サイクロトロンで製造されたポジトロン核種は、配管を通り合成装置に導かれる。合成装置は、PET診断で使用される薬剤にポジトロン核種を標識するのに用いる装置であるが、ポジトロン核種は放射線を発生することから、ホットセル(鉛製の遮蔽箱)の中に設置され、全自動で標識合成が行われる。

当社では、FDG、アンモニアおよび ^{15}O ガスといった合成装置をいち早く医療機器として製造販売しており、これらを用いたPET診断が保険適用されている(図2)。

F300は、2010年に医療機器製造販売の承認を受けたディスプレイホルダー式のFDG合成装置である。専用のチューブマニホールド(ディスプレイホルダー)、精製カラムおよび試薬キットを設置することにより、約15分で合成準備が完了する。合成反応はアルカリ加水分解を採用しており、短い合成時間(25分)で自動合成することができ、65%(EOS)以上の高い収率と安定性を実現した。また、合成終了後の自動洗浄機能を備え、合成後に自動で確実な洗浄を行うことにより、チュ

表1 PET用サイクロトロン性能、仕様
Performance and specifications of PET cyclotron

		HM-7	HM-10	HM-12	HM-20
陽子	エネルギー (MeV)	7.5	10	12	20
	ビーム電流 (μA)	70	70	150	150
重陽子	エネルギー (MeV)	3.8	5	6	10
	ビーム電流 (μA)	50	15	40	50
ターゲット数(最大)		3	6	8	8
¹⁸ F収量/2時間(GBq)		68	130	413	755
製造核種		¹⁸ F, ¹¹ C, ¹⁵ O	¹⁸ F, ¹¹ C, ¹³ N, ¹⁵ O	¹⁸ F, ¹¹ C, ¹³ N, ¹⁵ O, ⁶⁴ Cu, etc.	¹⁸ F, ¹¹ C, ¹³ N, ¹⁵ O, ⁶⁴ Cu, ^{99m} Tc, etc.
壁シールド	部屋(m) W×D×H	—	—	4.5×4.5×2.5	4.5×4.5×2.7
	重量(t)	—	—	14	25
自己シールド	部屋(m) W×D×H	6.0×3.6×2.7	7.0×4.5×2.7	7.0×4.8×2.7	7.0×6.0×3.3
	重量(t)	30	52	69	155



図2 PET用合成装置
Synthesizer for PET pharmaceuticals



図3 放射性薬剤投与器
Auto Injector for PET
pharmaceuticals

薬剤は放射線を発生することから、これらのプロセスにおいても、放射線遮蔽や自動化が必要になる。当社では自動品質検定装置や自動投与器を製造販売している。

AI300は、2009年に医療機器製造販売の承認を受けた自動投与器である。図3に、本装置の写真を示す。AI300は、合成装置で合成したFDGを任意の液量・放射線量で患者に自動的に投与することが可能であり、この装置を採用することで放射性薬剤を取り扱う作業、医師および看護師の作業量や被曝を大幅に低減させることができる。

また、590(W)×400(D)×900(H) mmとコンパクトで設置場所を選ばないが、その最大使用放射線量は37 GBqとなっている。当社で販売してきた従来装置の倍の放射線量を扱うことが可能であるが、効率良く局所遮蔽を行うことによって、表面の漏洩線量を大幅に低減した。合成したFDGを一度AI300内に格納してしまえば、連続的に患者に薬剤を投与することができることから、患者ごとにFDGを準備および設置する必要がなく、薬剤交換に伴う作業員の被曝を大幅に低減することができる。操作性においてもタッチパネル式のコントローラを備えており、グラフィカルユーザインターフェースで視認性・操作性に優れ、直感的な操作が可能である。さらにAI300内で薬液が流れる流路はすべてディスポーザブルパーツにより構成されているが、これらの部品に滅菌済みの市販品を採用することにより、衛生的に優れた投与環境を保持しながら、ランニングコストを低く抑えることができる。

ープマニホールドを交換する際の残留放射能による作業員の被曝量を低減している。チューブマニホールドおよび試薬をキット化していることで、合成に関する知識や経験が少ないユーザが使用しても安定的に高い収率のFDGを得ることが可能となった。

N100は、2010年に医療機器製造販売の承認を受けたアンモニア合成装置である。N100ではディスポーザブルカラムを用いた陽イオン交換法を採用することにより、非常に簡便な作業で準備ができ、繰返し連続合成にも対応可能となっている。サイクロトロンで照射したターゲット水を回収してから¹³N-アンモニアを合成するのに必要な時間は3分と短く、半減期が10分と非常に短い¹³Nの減衰による影響を最小限に抑えている。N100で薬液が流れる流路と、洗浄および精製で使用する注射筒はすべてディスポーザブルパーツにより構成されているが、これらの部品に滅菌済みの市販品を採用することでランニングコストを低く抑えている。

日本国内においては、臨床診断に用いる合成装置は薬事法の規制により医療機器として認可されていなければならない。一方、海外では、医療機器の認可は必要ではなく、各国の医薬品製造基準(GMP)に従ってPET薬剤を製造・品質管理することが課せられている。当社の合成装置においても、GMPに対応したハードならびにソフトの開発を行い、海外への展開を図っている。

4 周辺装置

サイクロトロンおよび合成装置で製造されたPET薬剤は、定められた品質検定を行い、被験者への投与に供される。PET

5 おわりに

- (1) PET用薬剤製造システムは、サイクロトロン、合成装置および周辺装置で構成される。
 - (2) 当社では、ポジトロン核種の製造から、PET用薬剤の合成や投与まで一環したシステムを整え、自社開発・製造・販売・サービスを行ってきた。
 - (3) 各装置のラインナップを拡充することで、多様なニーズに応えるとともにユーザの被曝低減や、省力および省スペースを実現する製品を開発している。
- 今後も、新たな装置の開発や既設装置の保守サービスを通じて、臨床PETの発展に貢献していきたい。

門形平面研削盤 KSL

Double Column Type CNC Slideway & Surface Grinding Machine KSL

●杉山 陽介*
Yousuke SUGIYAMA



門形平面研削盤 KSL-2580
Slideway & surface grinding machine

1 はじめに

昨今の工作機械業界においては、オペレータの世代交代による加工技術の標準化や、人件費の高騰を背景に1人のオペレータが多数の機械を受け持つことが可能になるように強く望まれ、超精密加工機の自動化・省力化へのニーズはますます高まる一方である。本報では、最新型の門形平面研削盤 KSL-2580の持つ、超精密加工と自動化・省力化に関連する要素について解説する。

2 主要構造

2.1 本体構造

十分な静剛性と減衰性を持つ強固な箱型鋳物構造としている。

2.2 といし頭送り機構

静圧案内面を採用し、高剛性静圧油膜による平均化効果で高い真直精度を確保している。また、左右送り駆動装置とサドルの間に静圧カップリングを採用し、送りねじのうねりをキャンセルする構造としている。

上下送り装置はハーモニックドライブを採用し、バックラッシュを最小化している。

2.3 といし頭旋回角度割出し機構

旋回といし頭の割出し装置は高精度カーベックカップリングを採用し、割出し精度は旋回角度±5秒以内である。

2.4 といし軸受機構

横といし軸は高負荷容量、高油膜剛性および高回転精度

(0.2 μm以下)を持つ静圧軸受を採用している。非接触なので長寿命であり、減衰性能も優れている。旋回といし軸は、超精密級アンギュラベアリング軸受構造を採用している。ラジアル方向・スラスト方向ともに高い軸剛性による能率良い粗加工と高精度な機構による精密な仕上げ加工を両立させている。

2.5 テーブル構造

テーブル内部に研削液を通過させることにより、テーブル本体の熱変位を抑制することができる。テーブル駆動方式はラック&ピニオン方式を採用し、テーブルおよびベッドに熱発生源がないので、熱変位を抑制するのに有利な構造となっている。また、この方式は部品交換がほとんどないことからメンテナンス性が良く長寿命という特長も持っている。

2.6 旋回といし頭付ドレッサ

従来はクロスレール付きドレッサであったが、旋回といし頭付きドレッサ(図1)とすることで、ドレッシング時間の短縮と高精度な成形ドレスを可能にしている。またドレッシング用ダイヤモンド摩耗測定装置も装備しており、厳密にといし径を管理することができる。

2.7 旋回といし頭用といし自動交換装置(特別仕様)

図2に、概観図を示す。といし交換作業の自動化を図り、サイクルタイムの短縮化に貢献する。従来、交換可能なといしは4個であったが、最新型では8個のといしを交換可能であり、より多様なワークに対応可能である。

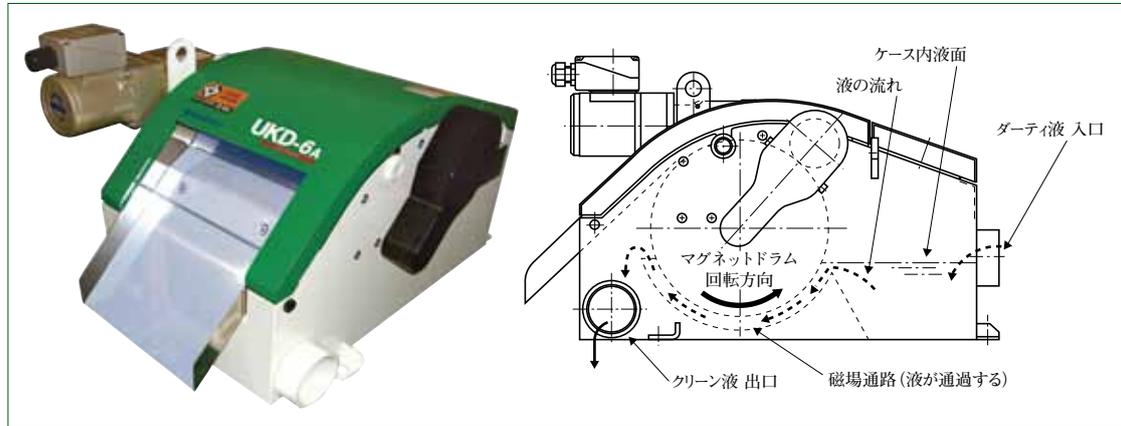
2.8 プレイバック機能(特別仕様)

プログラムを意識することなく、ボタン1つで研削プログ

超高磁力型マグネットセパレータの開発

Development of a Super-high Magnetism Magnet Separator

●大兼久 満*
Mitsuru OOKANEKU



超硬磁力マグネットセパレータ UKD-6A
Super magnetism magnet separator

1 はじめに

マグネットセパレータは、永久マグネットを内蔵した回転型マグネットドラムにより、研削盤など工作機械より排出される汚液から磁性体スラッジを分離し、液を浄化する装置である。

主たる納入先は、自動車関連会社、ベアリングメーカーおよび工具メーカーなどである。今回、住友重機械ファインテック株式会社 (FTEC) は、今まで磁力による回収が困難であった超硬合金 (タングステンカーバイド+コバルト) や炭素工具鋼 (SK材) のスラッジを分離回収すべくマグネットドラムの表面磁力を従来機種との2倍以上の1テスラ (1テスラ: 10000ガウス) にまで高めた超強力型マグネットセパレータを開発した。タングステンやコバルトはレアメタルと呼ばれる希少金属の一種で、回収による重要性が高い。

超強力型マグネットセパレータの対象となる加工機は、溝研削盤など超硬工具の研削盤である。現状の主な回収方法はフィルタ式、サイクロン式および沈殿式である。超硬工具メーカーではろ過装置にフィルタを使用している場合が多く、フィルタでろ過したスラッジのほとんどは産業廃棄物として処理されている。超強力型マグネットセパレータは、これらのろ過方法に比べ廃棄物がなく、省エネルギー・省スペースが期待でき、地球にやさしい装置と言える。今後、レアメタルの埋蔵量が減少するにつれ、超強力型マグネットセパレータの需要は世界規模で高まるものと推測できる。

超強力型マグネットセパレータを従来からの通常用途に使用すると、2次フィルタレスや液の長寿命化を図ることが可能であり、エコな装置とも言える。また、今まではスラッジ回収率を上げる目的で処理流量に対しサイズアップしたマグネットセパレータを選定することが多かったが、スラッジ回収の大きな要素である磁力を大幅に上げることでろ過性能が向上し、マグネットセパレータの小型化が可能となった。本

報では超強力型マグネットセパレータの磁力アップを可能とした構造および清浄性能について述べる。

2 構造

永久磁石には磁力の高い順でネオジム系、コバルト系、アルニコ系およびフェライト系磁石などがある。FTECのマグネットセパレータは標準型にフェライト系 (マグネットドラム表面磁力 約1500ガウス)、強力型にネオジム系 (マグネットドラム表面磁力 約3800ガウス) を使用している。

今回開発した超強力型マグネットセパレータも強力型と同じネオジム系マグネットを使用しており、その材質は高磁場での使用でも十分対応できる保磁力や固有保磁力を有している。このマグネットに磁場解析を繰り返しながら形状変更を行い、特殊配列することにより、マグネットドラム表面磁力を目標値である1テスラ (10000ガウス) にまで高めた。図1にその構造を示す。従来型は円筒型鉄製ヨーク外周にマグネットを固定し、極性は円周に対し直角にN-Sとしている。超強力型は強力型に比べ、マグネット1個当たりの体積を増やし、潜在エネルギーを増加させた。また、隣接するマグネット同士が同極となる配列 (反発磁気回路) とし、マグネット間に鉄製板状ヨークを挿入する構造とした。これにより磁束密度を大幅に高めることに成功した。従来型と超強力型の磁力線の状況を図2の磁場解析図に示す。従来型は、マグネットの中央より外周方向に磁力線が出ている。これに対し超強力型の磁力線は、マグネット間のヨークに集められて密度を高めた状態で外周に放出され、隣接するヨークに戻る回路になっているのが分かる。これらの内容による磁力向上の結果を実際の従来機 (今までのFTECの最高グレードであるKD-6A型) と比較する (図3参照)。KD-6Aのマグネットドラム表面磁力は0.379Tであるのに対し、超強力型マグネットセパレータが0.379Tを発生させるポイントはAとなる。磁力は距離が離れると急激に低下する性質であるにもかかわらず、ドラ

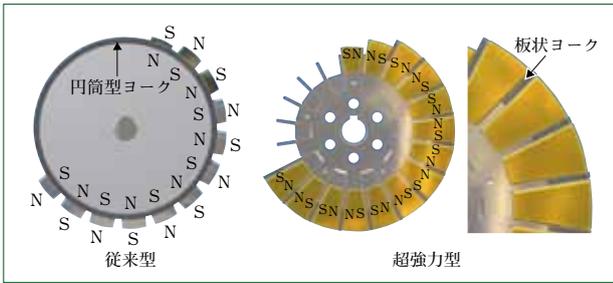


図1 マグネット配列の違い
Difference in magnet arrangement

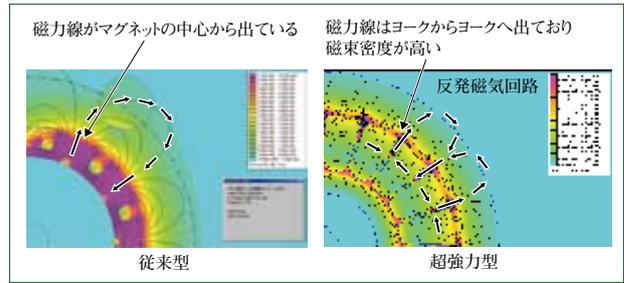


図2 解析結果(磁束密度分布)
Analysis results (magnetic flux density distribution)

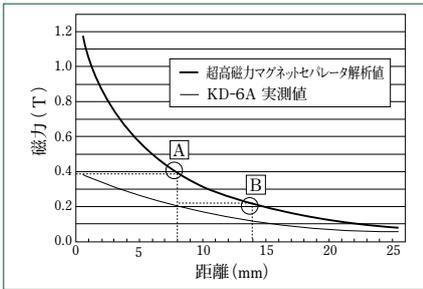


図3 磁力比較
Magnetism comparison

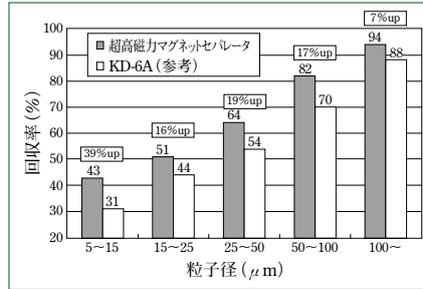


図4 SK3スラッジ回収性能比較グラフ
Comparison of SK3 sludge recovery performance

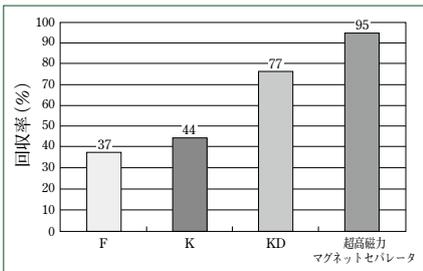


図5 SK3スラッジ回収率比較グラフ
Comparison of SK3 sludge recovery rate

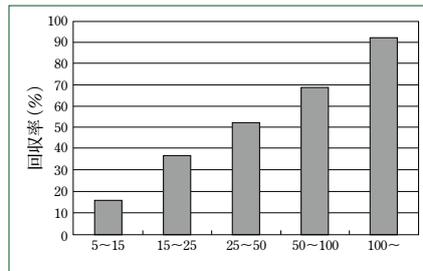


図6 超硬合金スラッジ粒子径別回収率グラフ
Comparison of hard metal sludge recovery rate

径や測定方法はNASに準拠)。スラッジは粒子径が小さいほどマグネットで捕捉し難く、5~15 μmのアップ率が最も大きいことは非常に有効な結果と言える(一般的に超硬合金やSK材の研削スラッジは15 μm以下の粒子が95%以上である)。図5の質量法のデータは、ダーティ液とクリーン液それぞれ100 mL中の粒子重量を測定し、ダーティ液からマグネットセパレータによってどれだけのスラッジが回収できたかを割合表示したものである。図6の計数法のデータは、超強力型マグネットセパレータ単体での超硬合金の回収率データである。工具製作メーカーより入手した超硬合金研磨時のダーティ液を、処理量20 L/minとしてワンパスろ過にてテストを実施した。この結果から、従来機ではほとんど回収不能であった超硬合金が、超強力型マグ

ネットセパレータにより回収可能であることが確認できた。

ネットセパレータにより回収可能であることが確認できた。

使用した計測装置

- ・計数法 コンタミカウンタ画像解析装置(株式会社 ニレコ)
- ・質量法 電子分析天秤(株式会社 島津製作所)

3 清浄性能

超強力型マグネットセパレータは、マグネットドラム磁力を極限まで高めたが、これが本来の目的である液の清浄性能をどのくらい向上させることができたのか実験により検証した。実験条件は、加工機：円筒研削盤、砥石：#80、液：ユシローケンFGC822J(水溶性)、ワーク：SK3、処理流量：60 L/minとして、ワンパスろ過にてテストを実施した。

比較機種は、F：標準型(フェライトマグネット使用)、K：強力型(ネオジムマグネット使用)、KD：従来最高グレード(ネオジムマグネット使用)とした。計測は、計数法(KD型との比較)と質量法(F、KおよびKDとの比較)の2種類とし、図4ならびに図5の結果を得た。図4の計数法のデータは、5段階の粒子径レンジにおいてダーティ液(マグネットセパレータに入る前の液)とクリーン液(マグネットセパレータでろ過後の液)それぞれ100 mL中の粒子数をカウントし、ダーティ液からマグネットセパレータによってどれだけのスラッジが回収できたかを割合表示したものである(5段階の粒子

4 おわりに

- (1) 超強力型マグネットセパレータの開発により、今まで磁気による回収が困難であった超硬スラッジ(レアメタルを多く含有)やSK材の回収が可能となった。
- (2) マグネットセパレータにはスラッジ絞り機能が標準で付属していることから、スラッジは半乾燥状態で回収され、再利用・再生用の後処理が容易である(サイクロン、フィルタでは困難)。
- (3) FTECはクーラント液処理のメーカーとして、今後とも、さらに地球環境にやさしくエコな商品の開発を進める所存である。

(参考文献)

- (1) 砥粒加工学会誌, 第52巻, 第10号, p.31~32.
- (2) JIS B 9930 汚染度：計数法.
- (3) JIS B 9931 汚染度：質量法.

1W4Kパルスチューブ冷凍機

1W4K Pulse Tube Refrigerator

● 齋藤 元和* 許 名 堯**
Motokazu SAITO Mingyao XU



図1 1W4Kパルスチューブ冷凍機
1W4K pulse tube refrigerator

1 はじめに

極低温冷凍機は、超電導マグネットなどの冷却手段として広く市場へ普及している。当社では主力製品としてGifford-MacMahon (GM) 冷凍機をラインナップしており、高い信頼性と、小型化の成功によって市場より高い評価を得ている。しかしながらGM冷凍機は、内部でディスプレイサと呼ばれるピストンが往復動しており、運転時に機械振動が少なからず発生する。このことから客先装置での信号ノイズ発生が問題となることがあり、冷凍機自身の低振動化は重要な開発課題となっている。

当社は、この課題に対し4Kパルスチューブ冷凍機の開発に取り組んでいる。パルスチューブ冷凍機は、低温部に振動源となるディスプレイサやピストンを持たないことから、低振動かつ長寿命という利点を有しており、市場からの要求である信号ノイズ低減およびメンテナンスインターバルの向上によるライフサイクルコストの低減が期待できる。

また、当社は2003年から、4.2Kにて0.5Wの冷凍能力を有する0.5W4Kパルスチューブ冷凍機(RP-052A)を発売し、以来、特にGM冷凍機比の低機械振動にて好評を得ている。しかし一方で、パルスチューブ冷凍機は、構造上同一サイズではGM冷凍機と同等の冷凍性能を得ることが難しく、大きな課題となっている。

近年では世界的なヘリウムガスの供給不足の影響もあり、冷却に寒剤のみを用いてきた用途にも冷凍機冷却のニーズが高まっており、超電導マグネット、希釈冷凍機および計測器などの用途で機械振動を嫌う市場から、低振動かつGM冷凍

機と同等の高冷凍能力を有する冷凍機が求められている。

この市場要求に対し、当社は4.2Kにて1.0Wの冷凍能力を有する1W4Kパルスチューブ冷凍機(RP-082B2) (図1)を開発した。

本機は、従来の0.5W4Kパルスチューブ冷凍機の低振動を維持しつつ、高冷凍能力・高信頼性をコンセプトとし、見直しを行った機体である。GM冷凍機と同様にコンパクトでありながら4.2Kで1Wという高冷凍能力を有し、かつパルスチューブ冷凍機の低振動という特長も併せ持つ。

2 主要仕様

- ・ 冷凍能力 1 段ステージ 40 W at 45K
2 段ステージ 1 W at 4.2K
- ・ 到達温度 1 段ステージ 30 K以下(参考値)
2 段ステージ 3 K以下(参考値)
- ・ 消費電力 8.5 kW
- ・ 寸法 339(W)×195(L)×556(H) mm

3 設計詳細

3.1 低振動

極低温冷凍機は、冷媒ガスであるヘリウム of 断熱膨張により寒冷を発生させているが、冷凍機動作時のガス圧変動によるシリンダの弾性変形が、冷却ステージの変位振動に対して支配的である。冷却ステージの変位振動を低減するにはシリンダの肉厚を増加させることが効果的であるが、熱伝導面積が増大することで、侵入熱の増加を招き、冷凍能力が低下してしまう。

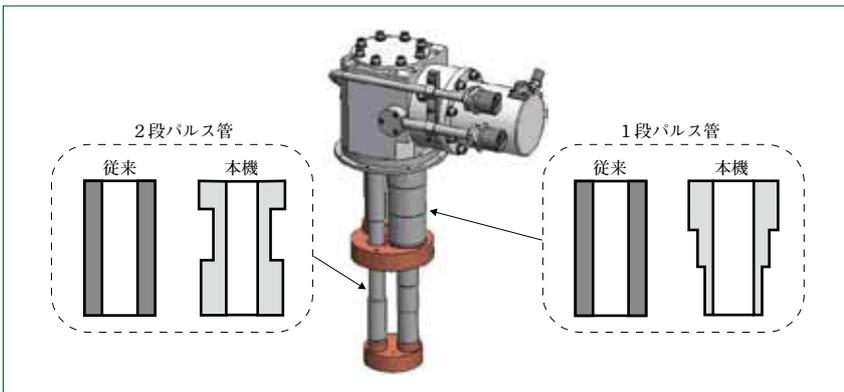


図2 シリンダ肉厚の最適化
Optimization of cylinder wall thickness

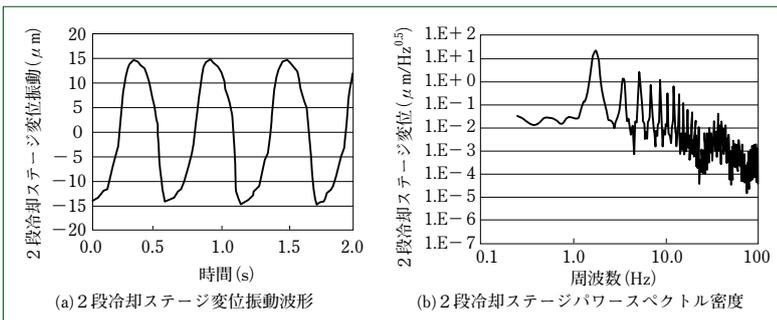


図3 2段冷却ステージにおける変位振動
Vibration displacement on the 2nd stage

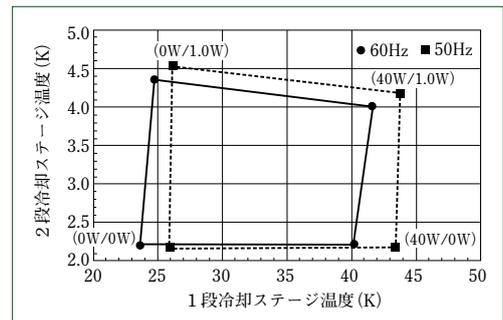


図4 冷凍能力ロードマップ
Typical load map of RP-082B2

これら相反する設計要求に対応すべく、シリンダ肉厚の最適化⁽¹⁾(図2)を実施し、シリンダの温度勾配に対して最適な肉厚とすることで、侵入熱の増大を抑制しつつシリンダ軸方向の変位振動の低減が実現した(図3)。なお、本構造については特許出願し、登録となっている。

また本機ではさらなる低振動化を目指し、振動源であるバルブ駆動用モータを1m配管で分離したタイプもオプションとしてラインナップしている⁽²⁾。

3.2 冷凍能力の向上

GM冷凍機と同等の冷凍能力を得るべく、冷凍機全般にわたり設計の見直しを実施した⁽³⁾。主要な設計要素を次にあげる。

- (1) 蓄冷材は、冷凍能力への影響が大きな部位であり、今回、1段蓄冷材として使用している金網材質の見直しおよび充填枚数と金網メッシュ数の最適化を実施した。
- (2) シリンダ低温部に設置されている熱交換器および整流器も冷凍能力に大きく寄与する重要部品であり、設計の見直しを実施した。同時に、従来は別体となっていた熱交換器と整流器を一体とすることで、部品点数の削減および工程の簡略化が可能となった。
- (3) ヘリウムガスの断熱膨張による発生冷凍量は、シリンダ内の高圧/低圧の圧力差に依存する。今回、セルフシールカップリング継手径拡大および冷凍機内部の流路径の見直しにより、系内の圧力損失を低減させ、冷凍能力の向上を達成した(図4)。

3.3 環境規制(RoHS)対応

極低温冷凍機においては、蓄冷材として鉛球が用いられてきた。蓄冷材に求められる主な特性としては、高い体積比熱を有することと球形状に加工しやすいことがあげられる。鉛

は、上記特性および入手性の観点からも非常に優れた材料であり、極低温冷凍機に一般的に用いられている。

しかしながら、鉛は近年の環境負荷への懸念から規制物質に指定され、世界的に使用が制限されてきており、当社としても代替材料への変更を進めている。本機ではビスマス球を蓄冷材の代替材として使用することで鉛球を廃止した。ビスマスは鉛と比較して体積比熱が低いが、充填比率および粒径を最適化することで冷凍能力を低下させることなく代替品への変更を達成した。

4 おわりに

- (1) シリンダの肉厚最適化により侵入熱の増加を抑制しつつ変位振動を低減した。
- (2) コンパクトでありながらGM冷凍機と同等の冷凍能力を達成した。
- (3) 環境規制物質である鉛を排除できた。

今後も市場要求に応え、1.5Wクラスの冷凍能力を備えたパルスチューブ冷凍機をラインナップしていく所存である。

(参考文献)

- (1) M.Y. Xu, H. Takayama and H. Yamanouchi, Low Vibration 4 K Two-stage Pulse Tube Cryocooler, Proceedings of ICCR' 2008, 2008.
- (2) 高山寛和, バルブ分離型4Kパルスチューブ冷凍機, 住友重機械技報, no.175, 2011, p.20.
- (3) M.Y. Xu, H. Takayama, K. Nakano, Development of High Efficiency 4K Two-Stage Pulse Tube Cryocooler, Cryocoolers 16, 2011.

IE2高効率モータにおける効率向上と国際規格対応

Efficiency Improvement of IE 2 Motors for Global Regulation

●水谷 清信* 竹島 豊* 藤野 泰充*
 Kiyonobu MIZUTANI Yutaka TAKESHIMA Yasuhiro FUJINO

表1 IEC規格による効率区分と従来規格との比較
 Efficiency classes by IEC standard and comparison with current standards

IEコード	効率区分	従来規格との対照		
		日本	アメリカ	欧州
IE 1	標準効率	JIS C 4210相当	NEMA標準相当	EFF 2とEFF 3の間
IE 2	高効率	JIS C 4212相当	NEMA高効率相当	EFF 1とEFF 2の間
IE 3	プレミアム効率	—	NEMAプレミアム相当	EFF 1を上回る値
IE 4	スーパープレミアム効率	—	—	—

表2 誘導機の損失分類と発生箇所
 Losses of induction motor and key determinants

損失の名称	発生箇所	全損失に占める割合 (当社小型機の例)
1次銅損	固定子側巻き線の抵抗損	約40%
2次銅損	回転子導体の抵抗損	約20%
鉄損	鉄心を通る磁力線による損失	約25%
機械損	ファンや軸受の機械的損失	約8%
漂遊負荷損	漏れ磁束などによる電磁気的損失	約7%

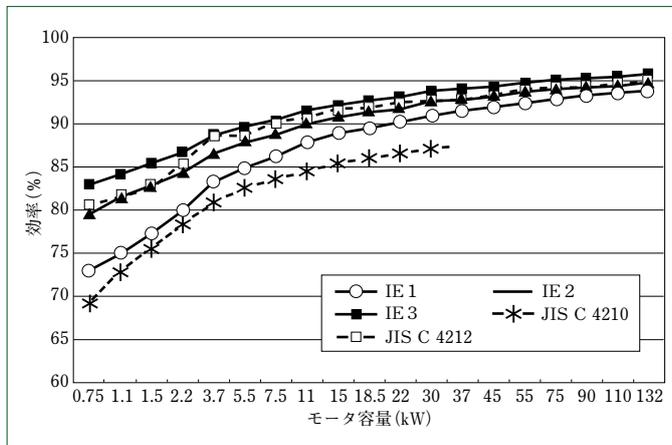


図1 IE1～IE3の効率値 (50Hz, 4Pモータ)
 Efficiency value from IE 1 to IE3 (50Hz, 4-pole motor)

1 はじめに

近年、地球温暖化問題などにより省エネルギーを求める声が高まっている。産業分野で用いられる電動機は、全電力の3割にのぼる電力を消費していると考えられ、電動機の高効率化による省エネルギーが重要な課題となっている。このような状況を背景として、主たる電動機である三相誘導電動機(誘導機)に対して各国で効率規制が計画され施行されている。

当社は、2010年7月にIE2高効率誘導機を発売した。本報ではIE2機で検討し実施した効率向上策と、規制と並行して存在する各国ごとの技術および市場要求への対応について述べる。

2 モータの効率値とその規格

誘導機の効率の基準は、1990年代までは国および地域でばらばらであった。それゆえ、グローバルに高効率化を進めるうえで効率値を国際的に統一する必要性が生じ、2008年に国際電気標準会議(IEC)によって新しい規格IEC 60034-30が制定された。IEC 60034-30では、IE1、IE2、IE3の3つの効率区分が定められ、50Hzと60Hzの両方の効率値が規定された。規定された効率値では主要な従来規格の内容や経緯が反映され、従来規格から大きな乖離が生じて混乱することがないように配慮されている。

表1にIECで設定された新しい区分と従来区分との比較を、図1に代表例として50Hz、4P機の効率値の比較グラフを示す。2.2kWクラスの電動機において、効率クラスをIE1(標準効率)からIE2(高効率)に上げようとする、3ポイント程度の効率向上が必要となるが、これを誘導機の損失低減に置き換えると、20%以上の損失削減を行う必要があり、設計や技術面で多くの改善が必要となる。

3 電動機の効率向上の方策と課題

電動機の損失は、表2に示す5つの種類に分解できる。主要な損失は、1次銅損、2次銅損および鉄損の3種であり、この削減が大きな課題となる。表2に示すように、1次銅損および2次銅損は電動機巻き線に電流が流れることによって発生する抵抗損である。鉄損は電動機の鉄心部品に流通する磁力線による磁気的な損失である。これらの損失を減らすべく基本的に次の方策が採用される。

(1) 銅損

巻き線を太くし抵抗値を下げ、さらに巻き線の電流密度を高くして抵抗損を減少させる。

(2) 鉄損

鉄心部品に用いる電磁鋼板の損失性能に大きく影響され、また鉄心を通る磁力線の密度(磁束密度)が高いと損失が増加する。このことから低損失電磁鋼板を用いることに加え、磁束密度を下げる(=鉄心を大きくする)設計を行う。

それぞれの対策は、誘導機の大形化や巻き線の銅量の増加および低損失鋼板の使用など、サイズとコストを上昇させる傾向にある。その一方で低損失鋼板は、流通できる磁束の最大値も低くなるという相反する傾向を示すことから、実際の製品設計では、材料特性、サイズおよび使用する素材コストの最適点を探ることが重要になる。

次に各国の規制に対応する場合の課題を説明する。表3に、各国および地域の規格とその注意点、さらに代表電圧と市場流通上の電圧の特徴を示す。国際的な効率値とその区分はIEC規格で統一されたが、実際の法令では従来効率値を継続使用しているところもある。また力率や始動特性などを規定している国もある。

また日本は、強制力のある規制は未実施だが、主要国で唯

表3 各国の効率規格名と規格値および特徴
Regulations, efficiency values and their features

国・地域	法律名(略称)	効率規格名	効率規格値	規格での注意点	代表電圧(400V級)	電圧の特徴
EU	EU委員会規則 No.640	IEC 60034-30	IEC規格 IE 2		400V/50Hz	380V,415Vなども多い
韓国	エネルギー消費効率等級表示制度	KS C 4203	同上	力率にも基準値あり	380V/60Hz	440Vも使われる
豪州・NZ	E 3 Program	AS/NZS 1359.5	CEMEP EFF 1 継続	効率値はIE 2 より高い	415V/50Hz	
中国	エネルギー効率標識実施規則	GB 18613-2006	左記GBの2級 (IE 2 相当)	規約効率値はIE 2 より高い 最低値の設定あり	380V/50Hz	さまざまな電圧あり
アメリカ	EISA	NEMA-MG 1	IEC規格 IE 3 相当	Design区分もあり、 始動特性に基準値あり	460V/60Hz	
カナダ	EEAct	CSA C 390	同上	同上	460V/60Hz	575V/60Hzも使われる
日本	(省エネ法)	JIS C 4212 (JIS C 6034-30)	JIS C 4212は IE 2 に近い	特性に基準値あり	400V/50Hz 400V/60Hz 440V/60Hz	3 定格を満足することが必要

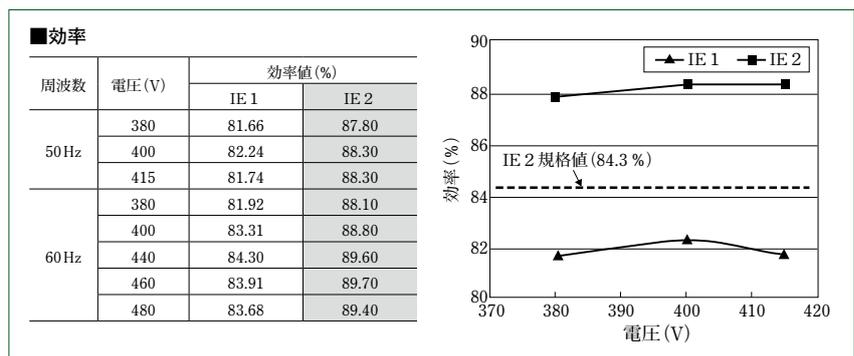


図2 効率改善例 (IE2 2.2kW 50Hz, 4Pモータ)
Efficiency improvement of 2.2kW×4P IE2 motor

一、50Hzと60Hzの複数周波数を有しており、400V級を例にあげると、400V/50Hz・400V/60Hz・440V/60Hzのいわゆる3定格を満足した製品を供給する必要がある。

各国ごとに異なる電圧、技術および市場要求に合わせて個別設計する考えもあるが、煩雑になり商品競争力が弱くなってしまう。このことから、電動機のkWに対して1種類の電磁部品で広範囲な電圧をカバーし、各地域ごとで異なる要求に応えられる製品の開発が必要になる。

4 実際の高効率電動機的设计と効率値

前章で効率向上策と対応すべき課題を述べた。実際の設計では実用に供し得る鉄心形状を決め、電磁鋼板と巻き線仕様をパラメータとして最適設計を行う。基本的な考えは、低抵抗と磁束密度低減をできるだけ低コストの素材で実現することである。この考えで進めた2.2kW機の標準効率機からの変更内容を例として示す。

- 巻き線の線径増大
φ0.65+φ0.60の組合せをφ0.85+φ0.80に大きくした。なお線径の太線化とバランスを取ることと、力率や始動特性を満足すべく巻き数は減らしている。
- 電流密度の増加
平均4.0A/mm²の電流密度を4.4A/mm²程度に高密度化した(50Hz, 400V級の場合)。
- 鉄心磁束密度の低減
1.70T程度の磁束密度を1.60T程度に低減した(固定側ヨーク部で50Hzでの数値。なお鉄心の体積は大きくしている)。
- 低損失電磁鋼板の採用
一般的な電磁鋼板より損失の低い鋼板を採用した。

図2に、これらの設計変更を行った結果例を示す。図2は

2.2kW誘導機で400V級、50Hzの効率データであるが、380~415Vまでの幅広い範囲で88%程度の高い効率を達成していることが分かる。60Hzでも同じように性能を確認し、世界各国の規制や技術要求および市場要求を満足することを確認した。また開発した誘導機で各国および地域の認証を取得し、単なる効率向上だけではなくグローバルに展開できる製品を開発したことで、市場や顧客から高い評価を受けている。

5 おわりに

- 温暖化対策や省エネルギー要求から、誘導機に対する効率の規制が始まっており、その際に必要となる効率改善度合いを説明した。
- 規制の効率値の他に、各国ごとの技術や市場要求を紹介し、その対応が必要なことを述べた。
- 製品実現に必要な方策と課題を述べ、当社製品での実施例を紹介した。

高い省エネルギー性能を有することは言うまでもなく、グローバル市場に対応する製品を提供することはメーカーの責務と考えている。今後も技術開発を継続し、社会に貢献できる製品を提供していきたい。

(参考文献)

- 財団法人エネルギー総合工学研究所, 平成21年度省エネルギー設備導入促進指導事業報告書, 平成22年3月, p.9.
- 社団法人日本電機工業会, 海外高効率化動向資料, 2011年9月22日改訂版.
- 水谷清信, 誘導機の高効率化の動向, 住友重機械技報, no.177, Dec., 2011, p.47~48.

超高速凝集沈殿装置 スミシックナー®の海外向けアプリケーション

Overseas Application of SUMI-THICKENER®

●田中 孝一*
Koichi TANAKA



図1 スミシックナー®納入事例(手前が反応槽、その奥がφ15mスミシックナー®)
SUMI-THICKENER®

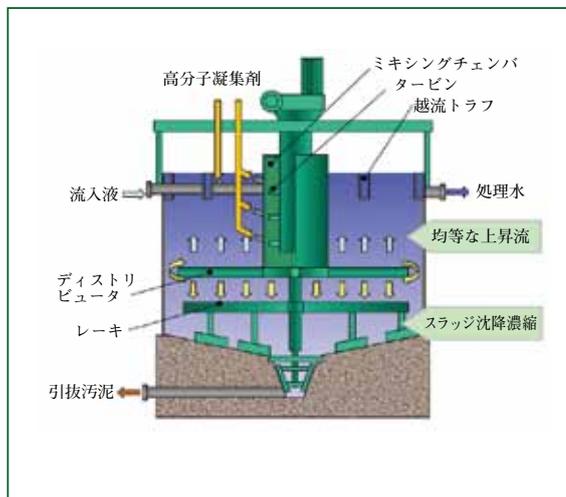


図2 スミシックナー®構造図
Cross section of SUMI-THICKENER®

1 はじめに

凝集沈殿装置は水中の懸濁物質成分を凝集させ、あるいは溶解成分を析出させた後、凝集フロックを形成して、沈降分離によりその懸濁物質を除去する装置である。凝集フロックは、多くは中性域で凝集核を生成する無機凝集剤や高分子凝集剤を添加し、懸濁物質と接触させることで形成される。それを効率よく分離する装置が、住友重機械エンバイロメント株式会社(SHI-EV)のスミシックナー®である。

凝集沈殿装置は、液体とフロックとの比重差により重力を利用し懸濁物質を分離するが、この操作はさまざまな外乱の影響を受けやすい。このことから一般的に、凝集フロックの沈降速度から算出された必要表面積に比べ、十分に余裕のある表面積を持つ大きな沈殿槽が採用されている。スミシックナー®は、凝集フロック本来の沈降速度で沈降分離を行うことで、省スペースと高澄清性を併せ持つことを目的として開発された。1983年に1号機を納入以来、種々の用途に対し、処理水質の向上、流入水質変動に対する安定性および沈降スラッジの濃縮など、ユーザの多様な要求に答えてきた。排水処理用途を筆頭に、生産設備で用いる固液分離用途を含め、現在200基以上の納入実績を重ねている。

2 スミシックナー®の概要

2.1 納入事例

図1にスミシックナー®の納入事例を示す。無機凝集剤や有機凝集剤を添加し、凝結や析出反応を行う反応槽とスミシックナー®で構成されている。

2.2 スミシックナー®の構造とその機能

凝集沈殿装置の重要なポイントは、①良好な沈降性の凝集フロック形成、②良好な沈降分離性、③沈降スラッジの高い

濃縮性である。

スミシックナー®はこれらの条件を満たす凝集沈殿装置である。高分子凝集剤を添加してフロックを成長させるミキシングチャンバを槽内に設けたこと。回転するディストリビュータから流入液を供給し、槽内に均一流を形成すること。ディストリビュータ下にフロック分離ゾーン、分離固形物スラッジの濃縮ゾーンを有することが、スミシックナー®の特徴である(図2)。

また、最大直径φ26m(紙パルプ工業向け)、最大表面積負荷 $30\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ (鉄鋼・無機化学工業向け)、最大処理水量 $3500\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ (鉄鋼工業向け)など大規模の実績を有す。一方で小規模の凝集沈殿に対応すべく、ユニット型のスミシックナー®を提供している。直径φ2.5mとφ3.5mの2種類で、製作工場で水槽本体に内部装置と駆動部の一体組み込みを行った状態で設置場所に搬入する。現地工事は一体構造体の据付、配管および配線の接続のみであることから、工期が短縮できる。

2.3 良好な沈降性の凝集フロック形成

良好な沈降性の凝集フロック形成は、粒径を大きくし、密度を高くする必要がある。凝結工程は、前段の反応槽において行われる。凝集剤の種類や添加率、反応時間およびpHなどの条件は、流入液の種類や懸濁物質の性質により最適な条件に設定する。反応槽の形状と攪拌強度は凝結反応を良好に進めるよう設計されている。フロック成長工程においては、高分子凝集剤の種類や添加率および攪拌強度や反応時間の条件設定が重要である。スミシックナー®は、ミキシングチャンバに高分子凝集剤を数段階に分割して添加することにより凝集フロックを徐々に成長させ、より高密度で大きなフロックとする設計としている。そのうえ、ミキシングチャンバを槽内に配置することにより、成長した凝集フロックを破壊す

表1 ソーダ工業 粗塩水前処理スミシックナー®実績表
SUMI-THICKENER® installation record for green-liquor clarification of pulp industry

	納入先	型式	槽径	納入年度
1	国内A社	SMT-12	φ12m	1998
2	韓国B社	SMT-18	φ18m	2004
3	シンガポールC社	SMT-3	φ3m	2004
4	韓国D社	SMT-5.5	φ5.5m	2008
5	韓国E社	SMT-10	φ10m	2008
6	韓国F社	SMT-10	φ10m	2010
7	スペインG社	SMT-7	φ7m	2012
8	韓国H社	SMT-12	φ12m	2012

ることなく、ただちに分離ゾーンへ供給することができる。

2.4 良好な沈降分離性

スミシックナー®内では、凝集フロックを含む流入液は、槽内下部に設けた複数のディストリビュータから槽内に供給される。ディストリビュータには複数の穴が設けられ、低速回転している。流入液は、ディストリビュータの動きとともに、沈殿槽内の全面にわたって供給され、槽上部に設けられた越流トラフに向かって上昇流を形成する。トラフは、下部から全面に供給された流入液をそのまま垂直に上昇させ、均一流を形成するようにしている。また、凝集フロックがディストリビュータ内で固着しないよう、洗浄機能を有している。

2.5 沈降汚泥の高い濃縮度

スミシックナー®は槽内下部に濃縮部を設け、十分な濃縮が行われるよう、容積を確保している。さらに凝集フロックをかき寄せる際に、高濃縮したスラッジがレーキと一体となって回転する現象が発生しないよう、また過トルクとならないように、かき寄せブレードの形状および配置を設計している。また、流入液はディストリビュータから下向きに供給されるが、濃縮部のスラッジを流動化させないよう、フロックの破壊を起こさない整流板を設けている。その結果、従来型凝集沈殿槽より3~5倍の高濃度でスラッジを引き抜くことができるようになった。

3 海外向けアプリケーション

スミシックナー®の海外向けアプリケーションを考えるうえでまず対象となったものが、従来の排水処理設備であったが、①海外では高いSS(Suspended Solid 懸濁物質)除去性能を適用する必要のない地域が多い、②「コンパクトで省スペース」が必要とは限らないという理由により生産設備へのアプリケーションを主流とすることにした。

3.1 ソーダ工業への応用

海外も含めた生産設備向けとして、パルプ生産工程に次いで実施例の多いのがソーダ工業の粗塩水の一次精製用凝集沈殿設備である(表1)。一般的にソーダ工業の粗塩水は、塩濃度が非常に高い。さらにpHや水温も高いことから高分子凝集剤の効果が低く、凝集フロックの解体が極端に進行してしまうという特性がある。凝集沈殿に対する阻害要因が多く、従来は、大きな表面積を有する大きな沈殿槽となるが多かった。その問題に対して、槽内に高分子凝集剤と凝結粒子を接触させるミキシングチャンバを有することで、解体が進行する前に多段注入の高分子凝集剤で大きな凝集フロックを形成でき、さらにフロックの良好な沈降性を有したまま分離ゾ

表2 紙パルプ工業 緑液清澄化設備への納入実績
SUMI-THICKENER® installation record for brine clarification of electrolysis

	納入先	型式	槽径	納入年度
1	国内I社	SMT-9.5	φ9.5m	1988
2	国内J社	SMT-12	φ12m	1990
3	国内K社	SMT-11	φ11m	1992
4	国内L社	SMT-11	φ11m	1995
5	国内M社	SMT-12	φ12m	1996
6	国内N社	SMT-9.5	φ9.5m	1996
7	国内O社	SMT-11	φ11m	1997
8	国内P社	SMT-11	φ11m	1999
9	国内Q社	SMT-8	φ8m	1999
10	国内R社	SMT-8	φ8m	1999
11	国内S社	SMT-10	φ10m	2009
12	タイT社	SMT-10	φ10m	2012

ンへ導き、処理水の清澄性を維持することが可能となった。また従来型凝集沈殿槽では、沈殿槽前段の凝集槽や流入樋で高分子凝集剤を添加することにより、沈殿槽への流入でフロックの解体が起こっていた。この欠点に対してもミキシングチャンバの特徴が有効に働くことになった。このように、凝集状態の維持やスミシックナー®の表面積を有効に使用することにより、コンパクト性の確保も行うことができた。

3.2 紙パルプ工業への応用

国内の生産設備向けとしては、パルプ生産工程のアルカリ回収設備用沈降分離設備における実施例がもっとも多い(表2)。粗緑液からSS分を分離する工程でスミシックナー®が使用されている。その粗緑液はソーダ工業に比べアルカリ濃度や水温が非常に高いことから、高分子凝集剤の効果が低く、凝集フロックの解体が極端に早い。このように紙パルプ工業への適用では凝集沈殿に対する阻害要因が多く、処理液(清緑液)のSSが高いことでアルカリ回収率の低下を招くことなどにより、従来は大きな表面積を有する多段沈殿槽が用いられていた。その問題の解決には、槽内に高分子凝集剤とSS分を接触させフロックを形成するミキシングチャンバを配置して、そこで生成したフロックの解体が進行する前に分離ゾーンに導くことで、小さな表面積の装置であっても処理水の清澄性を維持することが可能となった。さらに、沈降分離したSS成分の高い濃縮性を確保することで、脱水機的能力アップやアルカリ回収率が向上した。

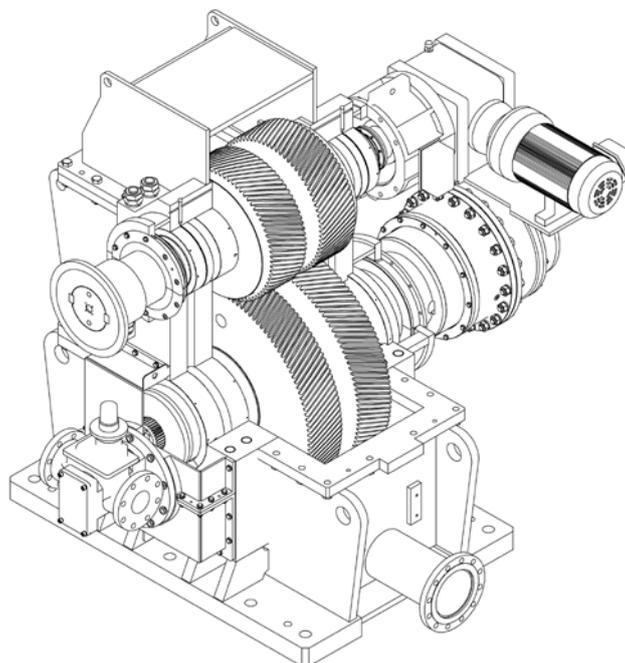
4 おわりに

- (1) 海外では、スミシックナー®の排水処理設備での高清澄性や省スペースが必ずしも求められないことが分かった。
- (2) スミシックナー®の凝集フロックを形成するミキシングチャンバを槽内に有するという利点を生かせるアプリケーションを、ソーダ工業や紙パルプ工業の生産設備用途として適用することとした。

国内はもとより海外においても、既存沈降分離設備を運転した状態で機側に設置できるコンパクト性と、清澄性向上による生産性向上を目的として拡販を進めていく。

ガスタービン発電機用高速歯車装置

Vertical Offset Parallel Shaft Gear Box for Gas Turbine-Generator



高速歯車装置は、主に発電機とコンプレッサ(石油・ガス・化学)の駆動に使用される。

近年、世界的なエネルギー産業の発展により、自家発電装置をはじめとする中小型の発電装置の需要が高まっている。大型の発電装置は原動機と直結されるので、歯車装置を必要としないが、8万kW以下の中小型発電装置では高速歯車装置が使用される。

原動機にはガスタービンと蒸気タービンがあり、ガスタービンは小型かつ軽量であることから、スペースに制限のあるビル、ホテル、病院および工場などの防災ならびに非常用発電に多く利用されており、世界的な市場においてもガスタービンの占める割合が大きい。

また、ガスタービン発電機用の高速歯車装置は、据付面積の小さい縦異芯型が多く採用されている。株式会社セイサの高速歯車装置の設計製造技術は、世界のトップレベルにあり、すでに国内外合わせて7000台以上の納入実績がある。今後ともこれまで培ってきた技術力を結集し、新たに海外のガスタービン発電機市場に向け、縦異芯型高速歯車装置を製品化し、販売していく。

主要仕様

用途	ガスタービン発電機
軸形式	縦異芯型
伝達動力	MAX約55 000 kW
入力回転数	約3000~11000 rpm
出力回転数	1500, 1800, 3000, 3600 rpm
中心距離	MAX約1000 mm
ケース	鋳鉄, 鋳鋼, 鋼板溶接構造
歯車	はずば, やまば(JIS 0級)

軸受	すべり軸受, ティルティングパッド軸受
カップリング	ダイヤフラムカップリング, ギヤカップリング, クイルシャフト(ねじり軸)
ターニング装置	SHI製BBB(自動嵌脱式クラッチ付き)
機付ポンプ	ギヤポンプ, スクリューポンプ

特長

- (1) 各国規格に対応
API, AGMA, ISO, DIN, BS, 船級など
- (2) 高効率
効率98.5~99%
- (3) 低振動
セイサ独自の振動解析(FEMすべり軸受性能解析, 危険速度解析, アンバランス応答解析)
- (4) 各種監視システムの取付けに対応
軸振動・軸移動計, 加速度計, 軸受温度センサ
- (5) 高信頼性
納入実績 約7000台(1958年~2011年)

(株式会社 セイサ 濱田貴士)

新型リーチフォークリフトFBR

New Reach Forklift Truck



新型リーチフォークリフトFBRは、VOC(顧客要求)をベースとした基本コンセプトである「小回り性と省エネルギー」を実現し、お客様に満足いただける4つの特徴(作業性、経済性、快適性および安全性)を兼ね備えたリーチフォークリフトである。小回り性については、車両レイアウトやマスト引込み量などの改善により、業界最小の直角積付け通路幅を達成し、作業効率、保管効率および疲労度を大幅に改善した。省エネルギーについては、新モータの採用や制御の最適化などにより、規定のサイクルパターンにおいて、消費電力量を従来型比率で24%削減し、業界トップの消費電力量の低減を達成した(JIS D 6202:2011, FBR15-260Ahバッテリーでの比較)。

主要仕様

	FBR15	FBR15(従来車)
定格荷重(kg)	1500	1500
揚高(mm)	3000	3000
走行速度(km/h)	10.5	10.5
上昇速度(mm/s)	560	560
最小旋回半径(mm)	1580	1580
直角積付通路幅(mm)	2540	2670
全長(mm)	2015	2070
全幅(mm)	1090	1090
ヘッドガード高さ(mm)	2240	2240
車両重量(kg)	2225	2330
バッテリー(V×Ah)	48×260	48×280

特長

(1) 作業性

走行および荷役における加減速特性と制御を最適化し、

インテグレーション時の作業性を向上した。また、荷役バルブの低速領域を広げ、微妙な操作をしやすい特性に変更した。さらに、リーチローラ位置の改善やシリンダのショックレス機能改善により、荷役操作時のマスト揺れを業界最小レベルとした。オプションとして、セーフティレーザ、キャリッジライトおよびLEDライトを準備し、倉庫内での作業性を向上した。

(2) 経済性

走行モータには、電気自動車にも使用されているIPM(Interior Permanent Magnet)モータを採用し、モータの小型化・高効率化により省エネルギーを達成した。荷役モータはACモータを採用し、効率向上に貢献している。

(3) 快適性

フロア高さを250mmに低減した。業界トップクラスの低床フロアにより、リーチフォークリフトの作業では頻繁な乗降時の疲労低減を実現した。ステアリングは、EPS(Electric Power Steering)モータ制御による操舵角ロックを行い、従来車のような操作エンドで発生する機械的なショックを防止した。走行モータは全閉形モータを採用することにより、従来型比で大幅に騒音を低減した。

(4) 安全性

運転席以外からの操作を防止する走行および荷役のインターロックを標準装備とした。また、下り坂での意図しない加速を抑制するスロープスピードリミットを標準で搭載した。オプションとして、ハイバックサポート、エルボガードおよびフロントプロテクタなどを準備し、安全性にも配慮した。

(住友ナコマテリアルハンドリング株式会社 村上 智)

住友重機械技報第179号発行に当たり

住友重機械技報第179号をお届け致します。

本誌は、当社が常々ご指導いただいている方々へ、最近の新製品、新技術をご紹介申し上げ、より一層のご理解とご協力をいただくよう編集したものです。

本誌の内容につきましては、さらに充実するよう努めたいと考えますが、なにとぞご意見賜りたく、今後ともよろしくご支援下さるよう、お願い申し上げます。

なお、貴組織名、ご担当部署などについては、変更がございましたら裏面の用紙にご記入のうえ、FAXでお知らせいただきたくお願い申し上げます。また、読後感や不備な点を簡単に裏面用紙にご記入願えれば幸いに存じます。

2012年8月

〒141-6025 東京都品川区大崎2丁目1番1号 (ThinkPark Tower)

住友重機械工業株式会社

技術本部 技報編集事務局

(宛先) _____ 住友重機械工業(株) 技術本部 技報編集事務局 行 FAX 横須賀 046 - 869 - 2355	(発信元) _____ 貴組織名 担当部署 氏 名 TEL No. FAX No.
--	--

住友重機械技報第179号の送付先の確認と読後感などの件

送 付 先 変 更	(旧送付先) 送付番号 _____ 組織名称 _____ 担当部署 _____ 所在地 _____ 〒 _____	➔	(新送付先) 送付番号 _____ 組織名称 _____ 担当部署 _____ 所在地 _____ 〒 _____
----------------------------------	--	----------	--

新 規 送 付 先	新しい部署ができた場合ご記入下さい。 組織名称 _____ 担当部署 _____ 所在地 _____ 〒 _____ 必要部数 _____ 部
----------------------------------	--

本 号 の 読 後 感 に つ い て	1. 本号で、一番関心を持たれた記事は。 2. 本号を読まれたご感想をお知らせ下さい。(○印でご記入下さい。) 1 興味深かった 2 特に興味なし その理由をお聞かせ下さい。
--	---

キ
リ
ト
リ
線

主要営業品目

変減速機、インバータ

●機械式減速機：[同心軸]サイクロ減速機、サイクロギヤモータアルタックス、精密制御用サイクロ減速機、コンパワー遊星歯車減速機、[平行軸]パラマックス減速機、ヘリカルパディボックス、プレストギヤモータ、[直交軸]パラマックス減速機、ハイボニック減速機、アステロ直交ギヤヘッド、ベベルパディボックス、ライタックス減速機、HEDCON ウォーム減速機、小形ウォーム減速機 ●変速機：[機械式変速機]バイエル無段変速機、バイエル・サイクロ可変減速機、[電気式変速機]インバータ、インバータ搭載ギヤモータ、サーボドライブ、DCドライブ
サイクロ、アルタックス、コンパワー、パラマックス、パディボックス、ハイボニック減速機、アステロ、ライタックス、HEDCON、バイエルおよびバイエル・サイクロは、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

プラスチック加工機械

●プラスチック加工機械：射出成形機、射出吹込成形機、ディスク成形機、セラミックス成形機 ●フィルム加工機：押出機、フィルム製造装置、ラミネート装置 ●IC 封止プレス ●ガラスプレス ●成形システム・金型：射出成形用金型、PET システム、インジェクションブロー成形システム、インモールドラベリング成形システム

レーザ加工システム

●レーザドリル装置 ●レーザアニーリング装置 ●YAG レーザと加工システム ●エキシマレーザと加工システム

半導体・液晶関連機器

●イオン注入装置 ●成膜装置：(太陽電池、タッチパネル、有機EL用)プラズマ薄膜形成システム ●精密位置決め装置 XY ステージ ●モーションコーポネント ●ライン駆動用制御システム ●マイクロマシン ●レーザアニーリング装置 ●半導体封止装置 ●ウエハ研削装置

環境施設

●環境・エネルギー関連プラント：循環流動層(CFB)ボイラ、ロータリーキルン式産業廃棄物処理施設 ●大気関連プラント：電気集塵装置、灰処理装置、乾式脱硫・脱硝装置 ●水関連プラント：上水処理施設、下水処理施設、浸出水処理施設 ●産業廃水処理装置

加速器、医療機器、精密機器、極低温機器、超電導磁石

●イオン加速器：サイクロトロン、ライナック、シンクロトロン ●電子線照射装置 ●医療機器：PET診断用サイクロトロン・CYPRIIS、標識化合物合成装置、陽子線治療システム ●冷凍機：パルスチューブ冷凍機、4KGM 冷凍機、スターリング冷凍機、クライオポンプ用冷凍機、MRI 用冷凍機 ●人工衛星搭載観測装置冷却システム ●超電導磁石：ヘリウムフリー超電導マグネット CYPRIIS は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

物流・パーキングシステム

●自動倉庫システム ●高速自動仕分システム ●FMS/FA システム ●無人搬送システム ●機械式駐車場

金属加工機械

●鍛圧機械：フォーミングプレス、油圧プレス、フォーミングロール、超高压発生装置 ●工作機械、クーラント処理装置 ●SPS(放電プラズマ焼結機)

運搬荷役機械

連続式アンローダ、港湾荷役クレーン(コンテナクレーン、タイヤマウント式ジブクレーン、タイヤマウント式 LLC)、トランスファクレーン、ジブクレーン、ゴライアスクレーン、天井クレーン、製鋼クレーン、自動クレーン、ヤード機器(スタッカ、リクレーマ、スタッカ/リクレーマ)、シップロダ、ベルトコンベアおよびコンベアシステム、リフティングマグネット装置、コークス炉移動機械

船舶海洋

●船舶：油槽船、撒積運搬船、鉾石運搬船、鉾油兼用船、コンテナ船、自動車運搬船、その他海洋構造物

インフラ整備関連

●海洋・港湾構造物：沈埋函、ケーソン

化学機械、プラント

●一般プラント：紙・パルプ製造装置、化学装置、原子力装置 ●発電設備：循環流動層ボイラ ●压力容器：リアクタ、塔、槽、熱交換器 ●攪拌混合システム：マックスブレンド攪拌槽、スーパーブレンド(同心2軸型攪拌槽)、バイボラック(横型2軸反応装置) マックスブレンドおよびバイボラックは、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

建設機械、フォークリフト

油圧式ショベル、移動式環境保全およびリサイクル機械、杭打機、道路舗装機械、フォークリフト

タービン、ポンプ

蒸気タービン、プロセスポンプ

その他

航空用機器、精密鑄造品、防衛装備品(各種機関銃、機関砲およびシステム)

※文章中のソフトウェア等の商標表示は、省略しております。

事業所

本社	〒141-6025 東京都品川区大崎2丁目1番1号(ThinkPark Tower)	技術研究所	〒237-8555 神奈川県横須賀市夏島町19番地
関西支社	〒530-0005 大阪市北区中之島2丁目3番33号(大阪三井物産ビル)	技術研究所	〒188-8585 東京都西東京市谷戸町2丁目1番1号
中部支社	〒461-0005 名古屋市東区東桜1丁目10番24号(栄大野ビル)	(田 無)	
九州支社	〒810-0801 福岡市博多区中洲5丁目6番20号(明治安田生命福岡ビル)		
田無製造所	〒188-8585 東京都西東京市谷戸町2丁目1番1号		
千葉製造所	〒263-0001 千葉市稲毛区長沼原町731番1号		
横須賀製造所	〒237-8555 神奈川県横須賀市夏島町19番地		
名古屋製造所	〒474-8501 愛知県大府市朝日町6丁目1番地		
岡山製造所	〒713-8501 岡山県倉敷市玉島乙島新湊8230番地		
愛媛製造所			
新居浜工場	〒792-8588 愛媛県新居浜市惣開町5番2号		
西条工場	〒799-1393 愛媛県西条市今在家1501番地		

本号に関するお問い合わせは、技術本部技報編集事務局(電話番号は下記)宛お願い致します。

住友重機械工業株式会社のホームページ <http://www.shi.co.jp/>

技報編集委員

委員	下園 一治	委員	小松 幹生
	石田 浩修		天野 光昭
	平田 徹		岡林 明伸
	大谷 博之		須田 祐一
	秋山 年春		柴田 憲司
	待井 紀彦		田村 悟
	浅井 一浩		西澤 信也
	川井 浩生		石倉 武久
	諏訪 義和		長坂 勇希
	乃美 和博		井手 紀彦
		事務局	技術本部
		編集協力	(株)千代田プランニング

住友重機械技報

第179号 非売品

2012年8月10日印刷 8月20日発行

発行 住友重機械工業株式会社
〒141-6025 東京都品川区大崎2丁目1番1号
(ThinkPark Tower)

お問い合わせ電話 横須賀 046-869-2326

発行人 谷口 勝彦