

**巻頭言**

ニーズの先取りによる差別化の推進

谷口勝彦

**プラスチック機械特集**

論文・報告	高応答サーボ技術の射出成形機への適用	天野光昭	1
	射出成形機の型締力フィードバック制御技術	伊藤 晃	5
	DVD・Videoディスクハイサイクル成形技術の開発	吉田秀樹	9
	微細転写成形技術の開発	徳能竜一, 張 延平, 加藤隆典, 赤松雅治	13
	画像処理によるモールドデポジット定量評価方法	山下秀樹, 早崎寛朗	17
	高性能全電動射出成形機 SE・DUシリーズの開発	四元晃史	21
	全電動中型射出成形機 SE・HD/HSシリーズの開発	小林彰久	25
	ハイブリッド射出成形機 PET4000HYの開発	坂本一郎	29
	コンパクト射出成形機 SVC50の開発	徳重信彦	33

**論文・報告**

	熱天秤による都市ごみの熱分解速度の測定	小川彰一, 末広文一	37
	一般廃棄物の熱分解に関する実験的研究	小川彰一, 末広文一	41
	熱分解ガス中油分の捕集・再生特性	小川彰一, 末広文一, 木嶋敬昌, 飯尾良夫	45
	制約充足手法を用いた造船日程の最適化	西村卓也, 仲摩行弘, 松田正康, 牧野有紀	49

**新製品紹介**

	中型直交ギヤモータ ライタックス減速機	53
	モーションコントローラ MC78Lite	54

On Publishing Special Section of Plastics Machinery

Katsuhiko TANIGUCHI

## Special Section of Plastics Machinery

T/PAPER	High Response Servo Technology in Injection Molding Machine	Mitsuaki AMANO	1
	Clamp Force Feedback Control Technology for Injection Molding Machine	Akira ITO	5
	Development of High-speed DVD-Video Disc Molding Technology	Hideki YOSHIDA	9
	Development of Micropattern Transferring Technology	Ryuichi TOKUNOU, Yan Ping ZHANG, Takanori KATO, Masaharu AKAMATSU	13
	Quantitative Evaluation Method of Molding Deposit through Image Data Processing	Hideki YAMASHITA, Hiroaki HAYASAKI	17
	Development of High Performance Full-electric Injection Molding Machine	Koji YOTSUMOTO	21
	Development of Medium-size Full-electric Injection Molding Machine	Akihisa KOBAYASHI	25
	Development of Hybrid Injection Molding Machine	Ichiro SAKAMOTO	29
	Development of Compact Injection Molding Machine	Nobuhiko TOKUSHIGE	33

## T/PAPER

	Thermogravimetric Measurements for Thermal Decomposition Rate of Municipal Solid Waste	Shoichi OGAWA, Fumikazu SUEHIRO	37
	Experimental Study on Pyrolysis of Municipal Solid Waste	Shoichi OGAWA, Fumikazu SUEHIRO	41
	Characteristics of Collection and Dislodgment of Adhesive Gaseous Hydrocarbons by Ceramic Filter	Shoichi OGAWA, Fumikazu SUEHIRO, Takamasa KISHIMA, Yoshio IIO	45
	Shipbuilding Scheduling with Weighted Constraint Satisfaction Problem Approach	Takuya NISHIMURA, Yukihiro NAKAMA, Masayasu MATSUDA, Yuki MAKINO	49

## NEW PRODUCT

	Medium Size Right Angle Shaft Gearmotor RHYTAX	53
	Motion Controller MC78Lite	54

## プラスチック機械特集の発行にあたって ニーズの先取りによる差別化の推進

常務執行役員

プラスチック機械事業部長 谷口 勝彦



自動車の軽量化，携帯電話など電子機器の小型化，光学ディスクの情報高密度化など，プラスチック製品は，樹脂，金型，成形法の開発や高度化によって，その応用分野を広げている。また，精密性，小型薄肉化，高転写性など，その要求も高度化しており，それに対応するために，様々な開発が行われている。

日本国内，および海外の日系のお客さんに関しては，電動の精密安定性，省エネ性などは当たり前となっており，それらの性能をさらに高める競争となっている。一方，欧米での電動化はまだ本格的段階に至っておらず，これからが欧米メーカーとの電動競争に入っていくと思われる。この分野では，当社独自のダイレクトドライブ機構による高応答，高精度制御が市場評価を受けたが，さらにその性能の極限を要望されている。また，豎型，2材機といった応用分野や，大型機への展開も期待されており，これらに呼応した開発を進めてきている。

成形品の高精度化のために高精度型締装置設計技術が要求され，小型薄肉化への要求から，高速高応答射出機構と電動機制御技術が必要となる。また，操作性，品質情報表示などのヒューマンインターフェースマシンを含む制御装置も重要となる。成形品の品質を安定させ，金型，スクリーアのメンテナンス周期を延ばすには，樹脂の可塑化プロセス，流動プロセスの安定化が必要であるし，各種外乱による不良品発生を考慮すると，精度の高い良否判別が期待される。電動化の流れが当たり前となった現状においては，これらの性能が今後の差別化のポイントとなってきている。

射出成形機だけとは限らないが，世の中のビジネススピードが上がることで，生産設備機械の短納期要求が強くなっている。単に生産効率やスピードを上げるだけでなく，開発段階から，標準化，共通化などが，より強く考慮されねばならない。

市場が国内はおろか，南北アジア，欧米と世界全体に及んでいるし，さらには，BRICsに代表される新規伸張市場も視野に入ってくる。その地域や国に規定されている規格（例えば，欧州のCEマーキング，米国のUL規格に相当するもの）への対応も重要となる。

以上述べたように，対象製品，市場，地域などの広がりとともに，プラスチック機械の技術開発競争はさらに強くなるし，これら市場ニーズを先取りした開発を行うことで，当社商品の差別化を一層推し進めたい。

# 高応答サーボ技術の射出成形機への適用

## High Response Servo Technology in Injection Molding Machine

天野 光 昭\*  
Mitsuaki AMANO

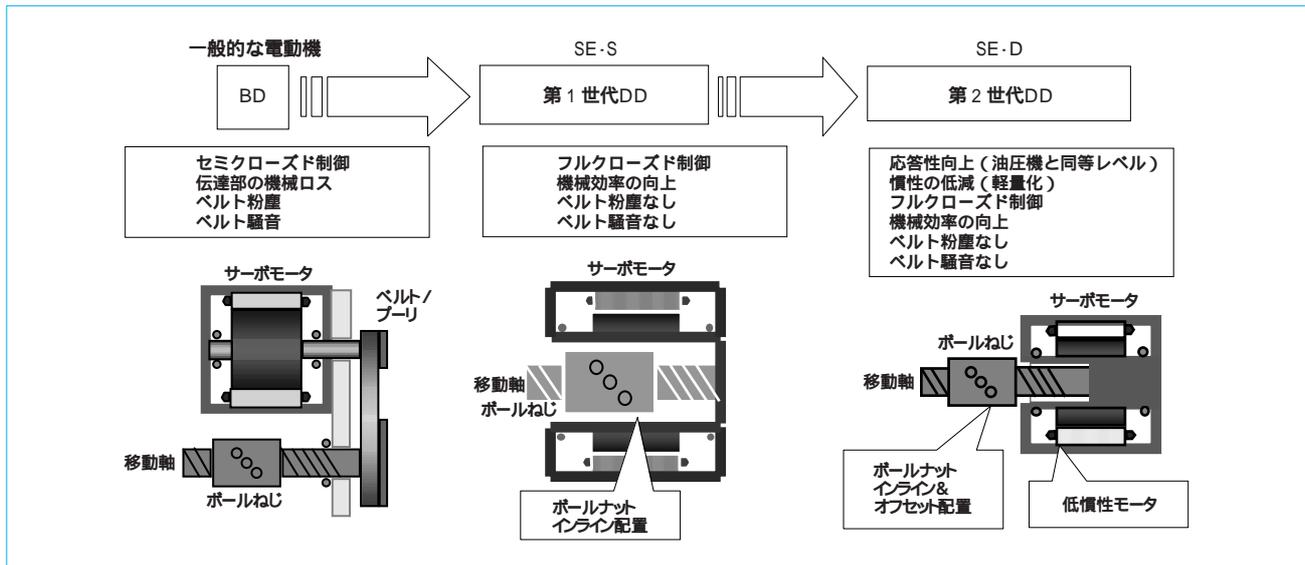


図1 DD機構  
DD mechanism

IT、デジタル家電を代表とする製品は近年小型、軽量および薄型の傾向が強くなり、それらを構成する際必要不可欠な要素として射出成形品にも小型、軽量、薄肉、複雑および複合化の要求が高まっている。

射出成形機本体に対する要求もそれらに対応することが迫られており、当社は制御性が高く、安定性および再現性が優れている電動射出成形機を開発し、市場投入によりこたえてきた。しかし、近年の更なる超精密および超安定性の要求に対しては十分とは言えず、モーションコントロールを重視した高応答サーボ技術により、要求にこたえての開発を行っている。

高応答サーボ技術を射出成形機へ附加した例として、射出装置に適用した場合の実射出成形での効果事例を示し、有効性を説明する。

Recently, the downsizing, weight saving and thinning of products represented by IT equipment and digital home appliances are advancing, and demand is also intensifying for smaller, lighter, thinner and more complex injection-molded articles, which are essential for assembling those products. Injection molding machines themselves are also required to address these trends. Our company has responded to such demand by developing and marketing electrically powered injection molding machines that achieve high controllability and excel in terms of stability and reproducibility. However, even those electrically powered injection molding machines have not fully met the recent demand for super precision and stability. For that reason, we are working on development that meets the demand by applying high-response servo technology, which attaches considerable importance to motion control. This report explains the effectiveness of adding the high response servo technology to an injection molding machine, taking an example of actual injection molding where the technology is applied to an injection system.

キーワード：射出成形機，高応答サーボ技術，ダイレクトドライブ

### 1 まえがき

最近のデジタル家電に代表されるIT関連の部品には、小型、精密、複合化、複雑化および薄肉化の要求が加速している。当然、射出成形品にも同様の要求が高くなってきている。これらの要求は射出成形加工業界の最近のトレンドであり、金型メーカーでは高精度な金型開発が、樹脂メーカーでは高流動、耐熱グレードの開発が活況になっている。

また、生産形態も多品種少量と少品種多量の混在による在庫レス化が高まっている。一方、従来これらの製品は国内で

生産してきたが、中国に代表される海外での生産にシフトしてきている。世界同時立上げが当たり前になってきた今日、この業界での敏速な技術要求が加速的に高まってきている。

射出成形機本体への要求としては、難易度の高い成形品が成形できると同時に、歩留まりの向上も必要となる。従来では不良率を%レベル管理であったものが、最近ではPPMレベル管理になっていることに表れている。これを成形機の装置要求に置き換えると、超精密性の実現および超安定性の確保である。従来の外乱に強いという意味でのロバスト性を段違いに飛躍させる必要がある。

\*プラスチック機械事業部

表1 実績値および成形品厚さのロギングデータ  
Actual results, sample thickness logging data

		VP切換え位置 (mm)	クッション位置 (mm)	充填ピーク圧 (MPa)	成形品厚みムラ (mm)
従来機	最大値	17.73	11.20	274.90	0.189
	最小値	17.59	10.60	252.40	0.177
	平均値	17.65	10.90	263.95	0.183
	範囲	0.14	0.60	22.50	0.012
高応答 サーボ搭載機	最大値	14.69	12.09	234.00	0.189
	最小値	14.66	11.96	223.90	0.184
	平均値	14.67	12.00	227.38	0.186
	範囲	0.03	0.13	10.10	0.005

## 2 射出成形機の進化

射出成形機業界のイノベーションとして、駆動源として油圧駆動から電動駆動への切り替えがあった。制御性の高い電動駆動では、油圧では実現できなかった優れた安定性および再現性が可能であり、トランスプラントに対する海外進出には大きく貢献した。同一の成形機、金型、樹脂および周辺機器を使用すれば、同一の成形品品質が得られることになる。

当社でも、電動射出成形機においてSE・SおよびSE・Dと新機種を市場投入してきた。SE・Sでは、第1世代Direct Drive (DD)と言われる機構を採用し、SE・Dでは、さらに低慣性を目指した第2世代DDと言われる機構を採用し、進化してきている(図1)。

通常、電動モータを使った射出成形機はベルトを介してその動力を制御軸に伝えている。DDは当社の独自の技術で開発された射出成形機用のサーボモータであり、ベルトを使わずに直接制御軸に動力を伝える機構となっている。ベルトドライブでは成形中に発生する負荷によりベルトの伸びが発生し、サーボモータの位置と制御軸の位置が異なるという問題があった。DDは、ベルト駆動の持つ伸びやたわみなどの欠点を解消することができる。また、機械効率を向上させ、ベルトの粉塵や騒音をなくすこともできる。

## 3 高応答サーボ技術

昨今の市場要求である上述の超安定性の確保および超精密性の実現には、射出成形プロセスの安定化が必要となる。応答性、精密性、パフォーマンスおよびアルゴリズムの四つの要素がバランスしていることが重要となる。応答性および精密性を向上させる機構の開発も当然であるが、それらの機構を駆動するのに必要なアルゴリズムおよびパフォーマンスの開発の重要である。そこで今回、サーボモータ制御性向上を含めた高応答サーボ技術に着目し、開発を行った。次章では、本高応答サーボ技術を射出装置に搭載したときの実成形における効果について述べる。

## 4 高応答サーボ技術搭載での成形効果事例

超精密性および超安定性の射出成形を実現させるには、射出装置の超精密性および超安定性は言うまでもなく必須条件である。具体的には、薄肉、複雑なキャビティ内溶融樹脂を充填させようとした場合、固化時間は極めて短くなる。完全充填させるには高加速度(立上りおよび立下り)は必要であるとともに、短時間であってもより最適な型内圧を発生、維

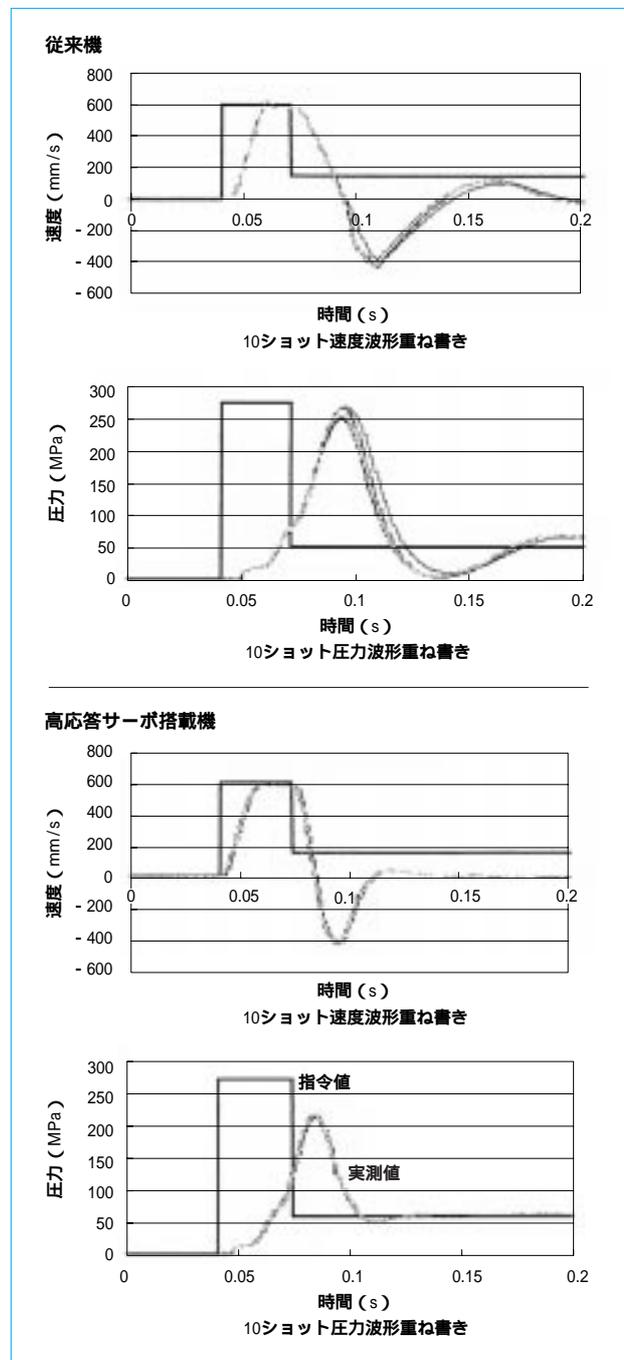


図2 射出速度および射出圧のプロファイル評価  
Estimation of injection velocity, injection pressure profile

持させる必要があり、射出圧のプロファイルが重要となる。効果事例として、まず、局部薄肉部(t:0.18 mm)を有するカードでの成形効果について説明する。使用成形機は、SE100D・HP(最大射出速度800 mm/s仕様)、樹脂はポリカーボネート(耐熱グレード)、射出速度設定は600 mm/sとした。成形安定性の評価としての50ショットでの射出成形機の実績値および成形品薄肉部の厚さのロギングデータを、表1に示す。高応答サーボ搭載機を見ると、ばらつきの範囲がVP切換え位置では0.14 mmが0.03 mmに、クッション位置では0.60 mmが0.13 mmに、充填ピーク圧では22.50 MPaが10.10 MPaにとそれぞれ減少している。その結果、最終的な成形品の評価である薄肉部の厚さのばらつき範囲も12 μmから5 μmまで減少している。従来機に対し、高応答サーボ搭

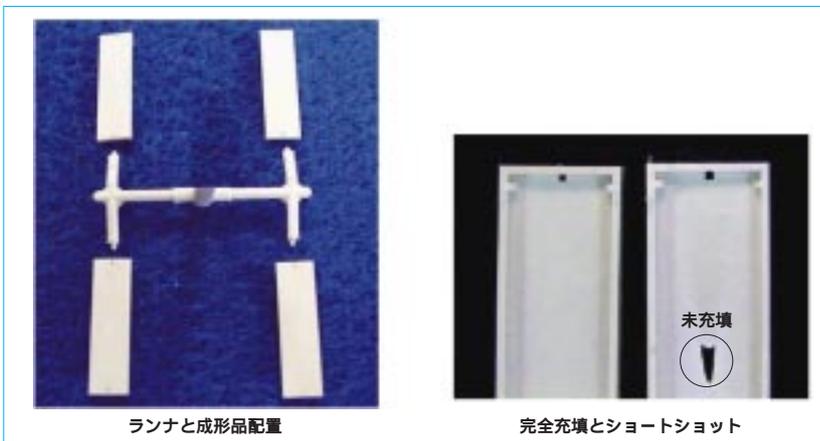


図3 成形品配置とショートショットの状況  
Sample of products placement and short shots

表2 実績値のロギングデータ  
Actual results of logging data

従来機

	充填時間 (s)	クッション (mm)	保圧完位置 (mm)	VP位置 (mm)	充填前位置 (mm)	充填ピーク圧 (MPa)
最大	0.09	1.8	2.77	2.9	6.71	31.2
最小	0.08	1.74	2.73	2.86	6.7	25.9
平均	0.0803	1.7703	2.7605	2.8832	6.7049	28.989
範囲	0.01	0.06	0.04	0.04	0.01	5.3
標準偏差	0.0017	0.0140	0.0086	0.0108	0.0050	0.6639
変動係数	2.1351	0.7926	0.3105	0.3750	0.0749	2.2902

高応答サーボ搭載機

	充填時間 (s)	クッション (mm)	保圧完位置 (mm)	VP位置 (mm)	充填前位置 (mm)	充填ピーク圧 (MPa)
最大	0.09	1.74	2.8	2.74	6.7	40
最小	0.09	1.73	2.75	2.73	6.7	37.1
平均	0.09	1.7336	2.7781	2.7336	6.7	38.766
範囲	0	0.01	0.05	0.01	0	2.9
標準偏差	0	0.0048	0.0093	0.0048	0	0.4571
変動係数	0	0.2783	0.3343	0.1765	0	1.1791

載機での安定した結果が得られた。

しかし、従来からあるこの評価では射出成形プロセスの安定性を評価する上では不十分であり、上述成形での充填中の射出速度および射出圧のプロファイルでも評価を行った。図2には、充填中のスクリー速度および射出圧のプロファイルを10ショット重ね書いた波形を示している。従来機では、充填ピーク圧が発生する時点から射出圧および速度のばらつきが大きくなっている。一方、高応答サーボ搭載機においては、射出圧および速度のばらつきが小さくなっている。これは、高応答サーボ搭載により、射出装置としてのサーボ剛性が向上し、充填ピーク圧が発生するという過渡応答時にも優れた繰り返し再現性を有していることを表している。加えて、ピーク圧発生後の圧力設定への整定時間も短縮されており、追従性が向上しているのも分かる。このことは、従来機では、最適な射出圧のプロファイル設定したとしても追従しきれないのに対し、高応答サーボ搭載機ではより設定に追従することであり、薄肉部および厚肉部が混在しているような成形品品質に射出圧のプロファイルが重要な成形においても対応できることを意味している。以上の結果は、成形品の難易度が向上したときの事例であり、射出圧、速度の安定性および設定追従性が向上したことの例である。

次に、安定性向上への効果事例を示す。図3に示すような、箱形小容量成形品（製品重量0.0435 g/個）の4個取りでの結果を示す。使用成形機はSE30D（コネクタ専用機、最大射出速度500 mm/s仕様）、樹脂は液晶ポリマ、射出速度設定は150 mm/sとした。まず、完全充填での射出成形機の実績ロギング値の評価を、表2に示す。高応答サーボ搭載機では、VP切換え位置、クッション位置、充填ピーク圧のばらつき範囲および標準偏差の減少に起因していることが分かる。ただし、完全充填の評価ではバリが発生しない範囲で可能な限り充填量を増加させられれば、上述の実績ロギング値は安定し易い。従来からあるこれだけでは、上述の局部薄肉部有するカードの効果事例同様に、射出成形プロセスの安定性を評価したとは言えない。そこで、次にショートショットの安定性を評価した。本成形品は箱形形状でかつ側面部の肉厚が厚いことから、最終末端部が天面の薄肉部の中央になる（図3）。

ここで、4キャビティ中に1キャビティのみにショートショットが発生するような条件を基準条件として、30ショットでのショートショットが発生するキャビティ数の推移をまとめたものが図4である。さらにここでは、液晶ポリマでもグレードの異なる3種類で実験をしている。ショートショットが発生するキャビティ数の標準偏差を比較すると、耐熱グレードでは1.251が0.183に、低ソリグレード（高剛性）では1.398が0.577に、低ソリグレード（低異方性）では1.484が0.556にといずれのグレードでも高応答サーボ搭載機では減少しており、高い安定性を保有していることが分かる。また、グレードが異なっても各グレードにおいて安定性が向上する結果より、この高応答サーボ搭載機でのロバスト性の高さもうかがえる。

## 5 今後の展開

成形効果事例でも分かるように、高応答サーボ技術が安定性および精密性に起因していることが明白になった。また、局部薄肉部を有するカードの成形結果をみても分かるように、従来機ではショートショットが発生せずに完全充填に必要な最低限の充填ピーク圧が発生するような条件で連続成形を行うと、充填ピーク圧の変動により必要最低限の充填ピーク圧を下回ることも考慮しなければならず、過充填気味の成形条件を取らざるをえない。結果的に、充填ピーク圧の平均値は高くなってしまふ。一方、高応答サーボ搭載機では、充填ピーク圧の変動が減少ことから、連続成形中に常に最低限

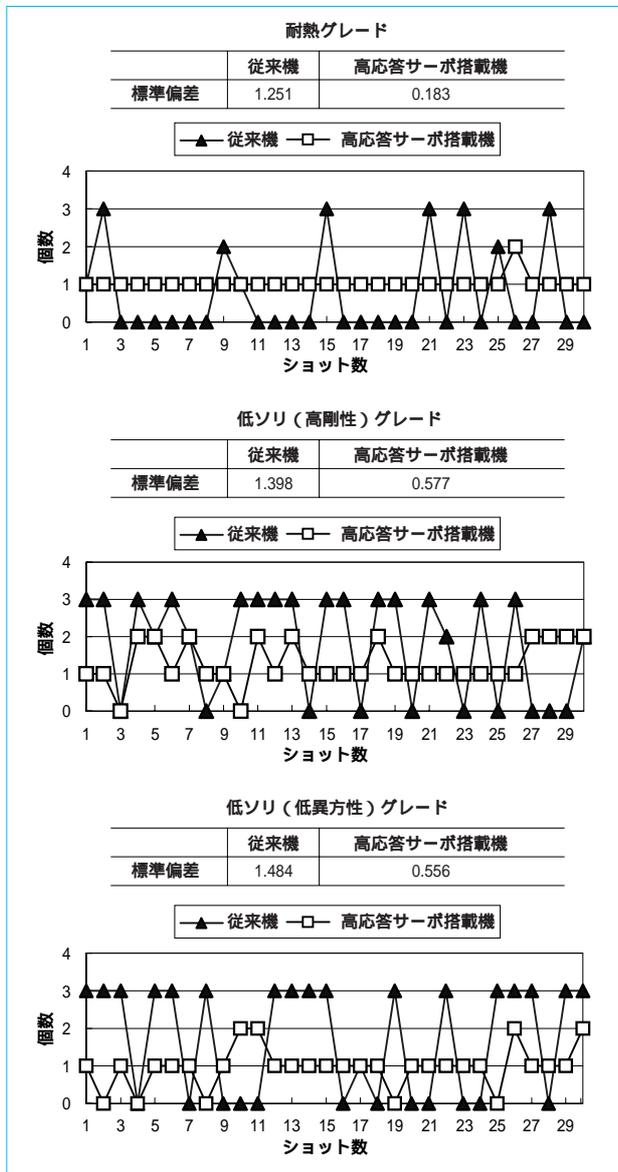


図4 ショートショットの安定性評価  
Estimation of short shots stability

の充填ピーク圧が発生する成形条件での連続成形が可能になり、充填ピーク圧を下げられることになる。充填ピーク圧を下げられるということは、金型へのダメージを減少させることはもとより、従来よりも可塑化装置を1ランク下げられる可能性も秘めている。また、成形立上げなどでの成形条件出しにおいても、高応答サーボ搭載機では設定を変えればそのまま成形品の変化に表れ、最適な成形条件出しが短時間で可能になる。

小容量成形結果では安定性の評価を行ったが、この効果は小容量に限ったことではない。安定性が向上したということは従来からあった良品範囲（下限値～上限値）内でのばらつきの分布を考えると、従来機では良品範囲内に分布しているが、高応答サーボ搭載機ではばらつき範囲が減少しピークが高くなる。このことは射出成形における外部環境（気温、樹脂ロットおよび金型温度など）の変化などの場合を考えると、仮に平均値が多少の変化したとき従来機では良品範囲を外れてしまうが、高応答サーボ搭載機では良品範囲を外れることなく、ロバスト性が高いことになる（図5）。

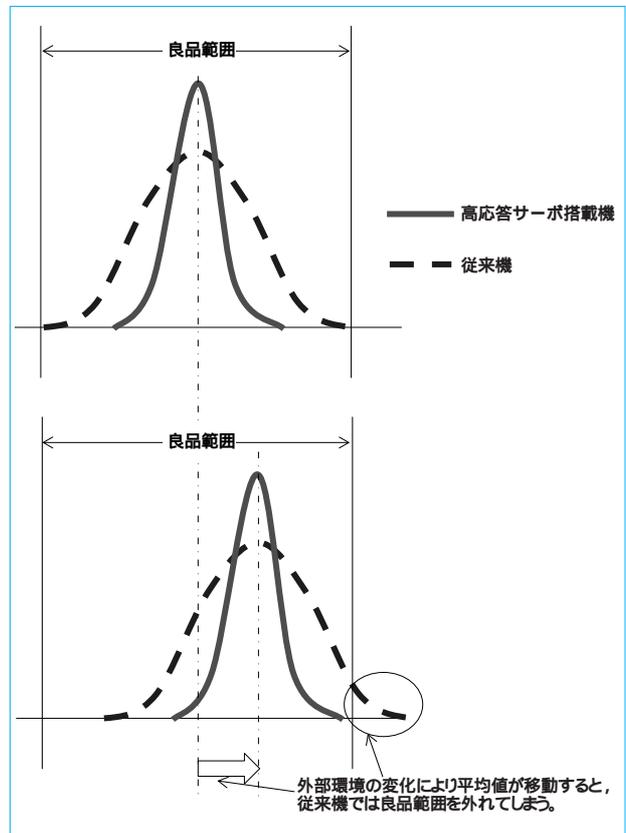


図5 ヒストグラムでの解釈  
Interpretation of histogram

## 6 むすび

高応答サーボ技術を射出装置に搭載した場合の効果として、次の2点を検証した。

- 成形プロセスの高難易度への対応として、射出圧および射出速度のプロファイルの安定化および設定追従性が向上。
- 段違いの不良率の改善への対応として、超安定性の確保。

本技術は他装置に搭載した場合でも効果は大きく、次の3点が見込まれる。

- 計量装置では、計量回転速度の制御向上により計量時間および可塑化の安定化。
- 型締装置では、安定したハイサイクル化。
- エジェクタ装置では、最適な離型パターンを設定。

最後に、今後も更なる成形品品質の要求は厳しくなるものと考えている。それらに対応、実現させるには、より高次元での高応答サーボ技術が必要であると考えられ、今後も本技術を高めていく所存である。

なお、本高応答サーボ技術は、SE-Dの後継機であるSE-DUシリーズに搭載している。

### （参考文献）

- 天野光昭, 平野智裕. 電動超高速射出成形機. 産業機械, no.654, p.17, Mar., 2005.  
大西祐史. 第2世代全電動射出成形機. 産業機械, no. 619, p.18, Apr., 2002.

# 射出成形機の型締力フィードバック制御技術

## Clamp Force Feedback Control Technology for Injection Molding Machine

伊藤 晃\*

Akira ITO

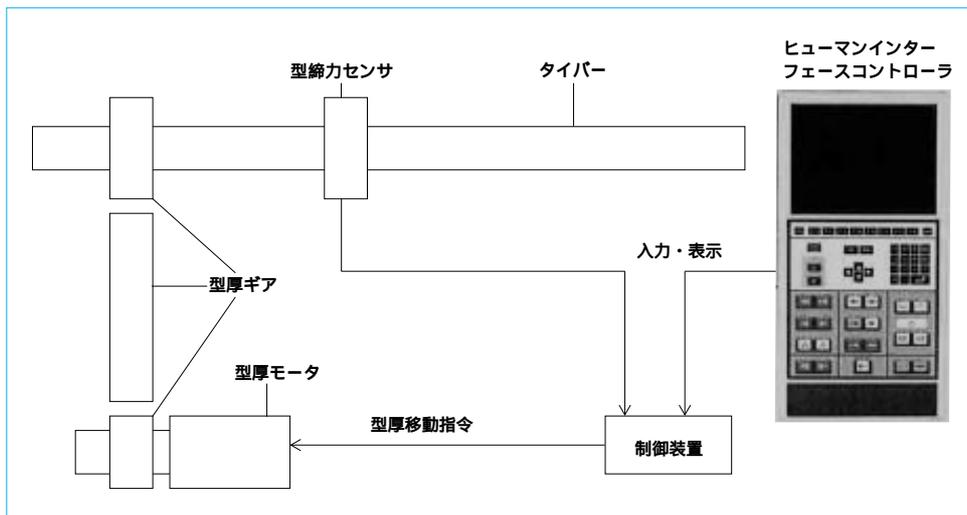


図1 型締力フィードバック制御  
Clamp force feedback control

射出成形機の高精度化、安定成形への要求にこたえるべく、型締力検出装置および型締力フィードバック制御を開発し、SE・DUおよびSE・HD/HSシリーズに標準装備した。

型締力フィードバック制御の機能として、二つの制御方式を開発した。その制御方式とは、型締力調整時の型締力フィードバック制御および自動運転中の型締力フィードバック制御である。これらにより、従来では正確な型締力の調整が困難な金型において、型締力設定と検出値が一致するように処理を行う自動調整を可能とした。また、金型の温度上昇に伴い熱膨張した金型で型締をしても型締力が増加せず、自動運転を続行させることを可能とした。

本報では、これら型締力検出装置および型締力フィードバック制御に関して報告する。

To meet the demand for higher accuracy and greater stability of injection molding machines, we developed a clamp force detecting system and a clamp force feedback control system, and equipped the SE-DU and SE-HD/HS series with the new systems as standard. We have developed the following two control methods as a function to control the clamp force feedback.

Clamp force feedback control for use in clamp force adjustment

Clamp force feedback control for use in automated operation

Formerly, it was difficult to accurately adjust the clamp force for molds. The use of the new systems allows the clamp force to be automatically adjusted so that the set value of the clamp force matches the actually detected value. In addition, the new systems enable even a mold thermally expanded due to a temperature rise to be clamped without an increase in the clamp force, thus allowing automatic operation to be continued. This report describes the clamp force detection system and the clamp force feedback control system.

キーワード：射出成形機，型締力，フィードバック制御

### 1 まえがき

プラスチック成形業界は、国内はもとより、台頭する中国をはじめとする諸外国に対抗するべく、生き残りをかけた生産性改善や差別化がはかられている。ユーザはコスト削減をはかるべく人件費の安い国での生産を進めている。そして製品自体への高品質化、精密化、薄肉化および複合化の要求も今まで以上に厳しくなっている。成形機メーカーでは、高生産性や低コスト化によるハイサイクル対応、精密化による高応答対応、薄肉化の高速射出対応および小型化、複合化の

専用機開発などで、ユーザの要求に対応している。そしてこれらを実現するべく、射出成形機のコストダウンと平行して高性能化および高機能化が進んできている。

こうした射出成形機の高性能化および高機能化を実現に向けて、当社では1998年にSE・Sシリーズ、2001年にSE・Dシリーズを市場に投入し、成形機業界においてシェアNo.1メーカーの地位を築いてきた。2005年に上市した主力機種である電動式射出成形機SE・DUおよびSE・HD/HSシリーズには、高精度、高機能ながらも低コストを実現した型締力検出装置および型締力フィードバック制御機能を他社に先駆けて開発

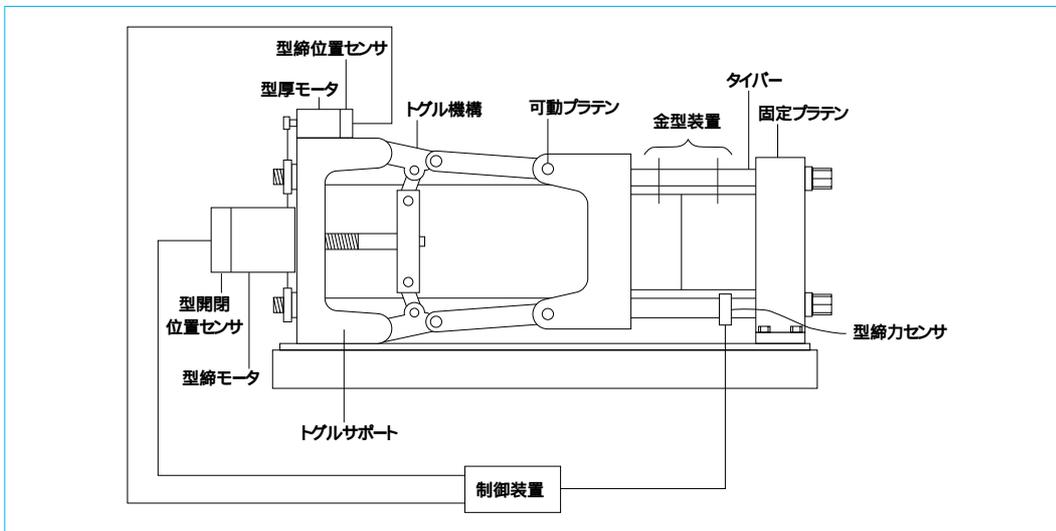


図2 型締装置  
Mold clamp unit

し、これを標準装備とした(図1)。

本報では、これら型締力検出装置および型締力フィードバック制御に関して報告する。

## 2 型締力フィードバック制御開発の背景

成形品は、射出成形機において、加熱シリンダ内で加熱されて溶融させられた樹脂を金型装置のキャビティ内に射出し、そしてその射出された樹脂は冷却され、固化することにより成形品となる。金型装置は、一般的に固定金型と可動金型より構成されており、型締装置によって可動金型を固定金型に対して型開動作、型閉動作および型締動作が行われている。型締装置の概略を、図2に示す。一般的な電動式射出成形機において、型締装置は固定金型が取り付けられる固定プラテン、可動金型が取り付けられる可動プラテン、可動プラテンを前進後退させるトグル機構およびそれを支えるトグルサポート部を備えている。型締装置において、トグル機構により可動プラテンを前進後退させる型開動作および型閉動作、可動プラテンを固定プラテンに接触させた後にさらに型締動作しタイバーを伸ばすことにより所望の型締力を発生させる昇圧動作が行われている。

型締力の調整は、工場出荷前に金型装置のサンプルとなる基準金型を型締装置に取り付けて、基準金型に対して設定通りの型締力が加わるようにタイバーの伸び量を調整することにより行われている。しかし成形機が出荷され、ユーザのもとで実際に稼働する際には基準金型ではなく実際の金型が取り付けられることから、以下の理由によって基準金型での調整量を用いて型締力の発生させようとしても、同様の型締力を得ることはできないという問題があった。

実際の金型はその厚みや剛性において基準金型とは異なることから、同じ調整量で型締してもタイバーの歪み量は異なっていた。さらに金型のプレート間にバネがある金型の場合、実際の型締力とは大きく乖離してしまう。

金型厚さの調整を常温で行った場合、金型の温調により温度上昇すると、熱膨張により金型装置に加わる型締力が増加してしまう。

トグルサポート調整機構の摺動抵抗が機構のなじみによって小さくなると、金型厚さの調整時に金型同士を押しつけるタッチ力が年月の経過とともに大きくなり、型締力が増加してしまう。

このことから、従来機では望む型締力が発生せず、ユーザも容易には気が付かないことから、型締力が低い場合にはバリが発生し、逆に型締力が高すぎる場合は金型や成形機の寿命が短くなることもあった。

## 3 型締力フィードバック制御装置の構成

前述の従来機の問題を解決するべく、型締力検出装置ならびに型締力フィードバック制御を開発した。

図1に型締力フィードバック制御装置、図2に型締装置の概略を示す。型締力センサはタイバーの歪みを測定するセンサで、専業メーカーと共同開発した。そして、型締力センサはセンサ押さえ装置により、タイバーに一定の力で押さえつけられている。型締力はタイバーの歪み量と比例していることから、タイバーの歪み量を測定することは型締力を検出することとなる。

今回開発した型締力センサ用アンプは図1の制御装置内に組み込まれており、

増幅部(型締力センサからの出力される微弱な電圧を増幅する)、

キャリブレーション部(無負荷時の出力電圧をゼロにする)

の二つの機能を有している。

制御の際は、型厚移動モータを制御装置で制御を行って型厚ギアを駆動させ、トグルサポートの位置を調整し、型締力検出値がヒューマンインターフェースコントローラで設定された型締力設定値と一致するように制御を行っている。

## 4 型締力検出装置の性能

今回開発した型締力検出装置の性能を、当社基準の測定器と比較し確認した。

型締力センサの精度確認テストに用いた測定器を次に示す。

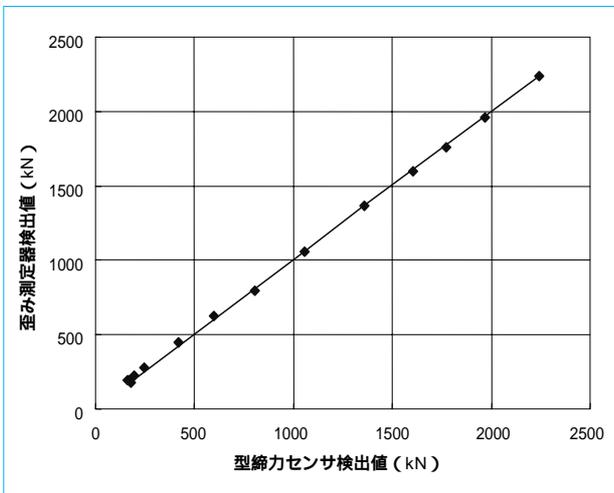


図3 型締力センサの性能テスト  
Performance test of clamp force sensor



図4 型締力調整時の制御の設定画面  
Setup display of control in clamp force adjustment

成形機 SE220HD  
測定器 歪み測定器  
歪みゲージ 2軸0°/90°交叉式

低型締力から高型締力の設定をし、基準測定器による検出値との比較を行った。テスト結果を、図3に示す。

このテスト結果より、0 kN近辺の低い型締力から2150 kNの機種最大型締力までで測定器との誤差は最大0.5%であり、型締力フィードバック制御に用いる十分な性能を有している。

## 5 型締力フィードバック制御

型締力フィードバック制御として、「まえがき」に述べた二つの問題点を解決するべく、以下の二つの制御方式を開発した。

- 型締力調整時の型締力フィードバック制御
- 自動運転中の型締力フィードバック制御

### 5.1 型締力調整時の型締力フィードバック制御

この制御は金型交換時の型締力調整時に行う制御であり、設定画面を図4に、制御処理を示したフローチャートを図5に示す。このフィードバック制御を行うことにより、基準金

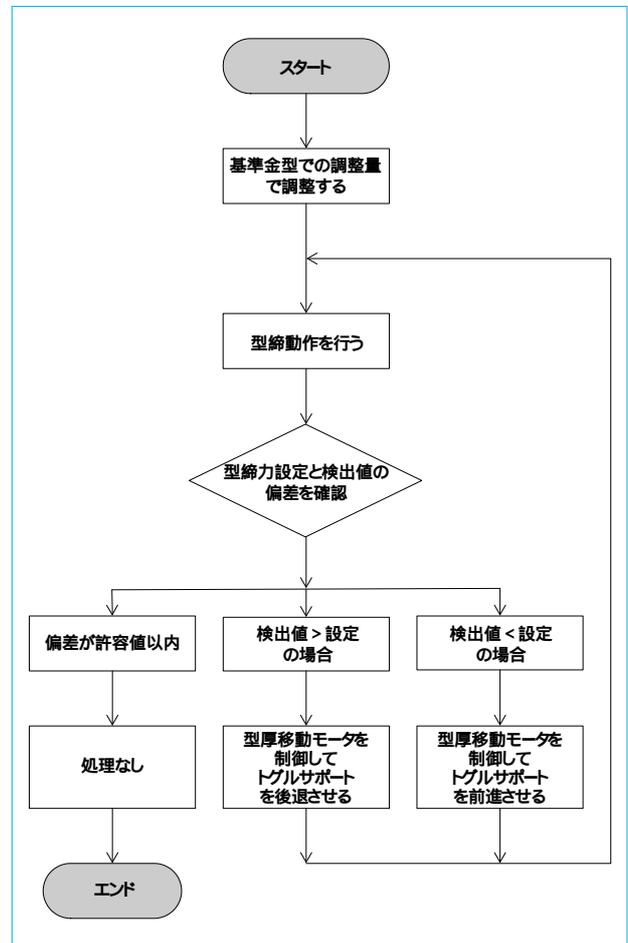


図5 型締力調整時の制御のフローチャート  
Flow chart of control in clamp force adjustment

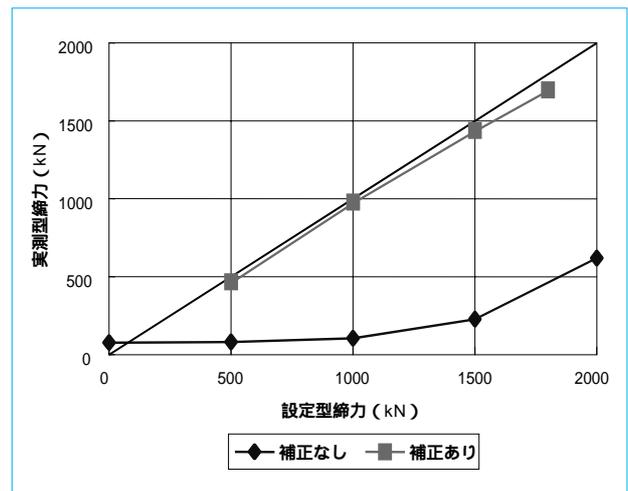


図6 型締力調整時の制御のテストデータ  
Test data of control in clamp force adjustment

型と今回フィードバック制御で用いた金型間に厚みや剛性が異なっても、さらに金型プレート間に種々のパネが装着されていても、自動的に型締力検出を設定に追従させることが可能となる。

### 5.2 フィードバック制御の効果

パネ入り金型を用い、本フィードバック制御の効果を確認した。



図7 全自動時の制御の設定画面  
Setup display of control in automatic operation

テスト結果を、図6に示す。この図より、従来機的方式である補正なしでは、500 kN、1000 kN、1500 kNおよび2000 kNと設定して型締力調整を行っても、ほとんど型締力が発生していないことが分かる。これは金型内のパネ力により、トグルサポートの位置を適正な位置に調整できなかったことが原因である。一方、補正ありでは、各型締力において、設定と検出がほぼ一致していることが分かる。

### 5.3 自動運転中の型締力フィードバック制御

これは自動運転中に行う制御方式であり、制御の流れを次に示す(図7)。

自動運転時の型開、型閉動作時において、型締完了時の型締力を検出する。そして、その際に検出された型締力と設定値を比較する。その差が許容値内に収まっていない場合、型閉動作中に型厚移動モータを前進(設定に比べ検出値が小さい場合)または後退(設定に比べ検出値が大きい場合)させ、自動運転を続行する。

以上の処理を毎ショット行うことにより、型締力の検出値が設定値と乖離することを防いでいる。

### 5.4 フィードバック制御の効果

型締力設定を1300 kNとし、金型を温調機で加熱して、本フィードバック制御の効果を確認した。テスト結果を、図8に示す。

補正なしの場合スタートからショット数が増加(時間が経過)するにつれて温度が上昇し、その結果型締力検出も増加し、250ショット以降は1500 kNを超えてしまっている。一方、補正ありの場合は、温度上昇による熱膨張によって型締力が増加する傾向になっても、フィードバック制御が働くことから、1300 kN近辺の型締力を保持し続けている。

## 6 むすび

成形機の高精度化、高安定化を実現するべく、型締力検出装置および型締力フィードバック制御を開発した。

型締力調整時の型締力フィードバック制御により、パネ入り金型のように従来では正確な型締力の調整が困難な金型であっても、型締力設定と検出値が一致するように自動的に調整されることを確認した。

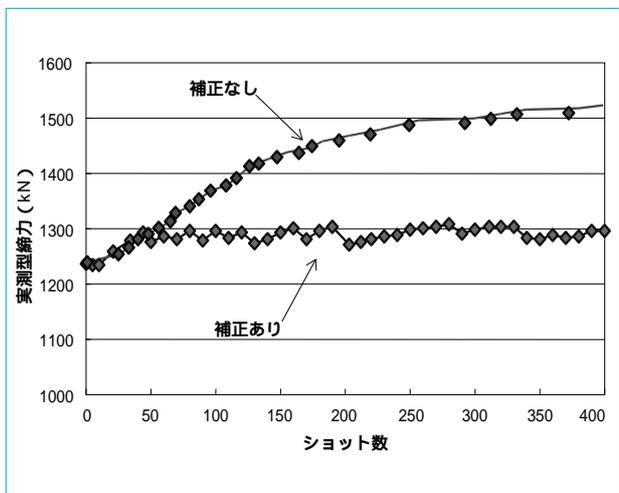


図8 全自動時の制御のテストデータ  
Test data of control in automatic operation

自動運転中の型締力フィードバック制御により、金型の温度上昇に伴い熱膨張した金型で型締をしても、型締力が増加することなく、自動運転を続行させることが可能となることを実証した。

以上型締力フィードバック制御を用いることにより、設定と通りの型締力が安定的に発生することから、長期にわたり成形品の高品質、高精度の維持ならびに金型や成形機の長寿命化を実現するとともに、成形機の信頼性向上に貢献することができると考えている。

今後も顧客ニーズを実現するべく、型締力検出装置の更なる高精度化およびアプリケーションの拡充を継続していく所存である。

### (参考文献)

大西祐史. 電動式射出成形機 SE-Dシリーズ. 住友重機械技報, no.150, Dec., 2002.

# DVD・Videoディスクハイサイクル成形技術の開発

## Development of High-speed DVD・Video Disc Molding Technology

吉田 秀樹\*  
Hideki YOSHIDA



図1 Molding sub system

近年DVDゲーム機の急速な普及により、DVD・Videoディスクの需要が世界的に急増している。その反面商品価格の下落や樹脂代高騰に伴う生産性向上に向けたコストダウンおよびサイクル短縮の動きが活発化し、客先要求レベルも年々高くなっている。

DVD・Videoディスク基板に要求される品質は、基板厚さがCDの半分0.6 mmの基板を2枚貼り合わせることから、基板の反り角度およびスタンプ表面上の微細パターン情報をコピーする転写性が重要である。サイクル短縮に当たり重要課題としては、成形機は、繰返し安定性と冷却時間1.0秒以内に計量を完了、金型鏡面冷却効率バランスの二つがあげられる。

本報では、業界初のDVD・Video2.0秒ハイサイクル成形における成形課題の問題点解決に努力を重ねて、達成した方法について報告する。

In recent years, the demand for DVD-Video discs has been rocketing worldwide in response to the rapid spread of DVD gaming machines. On the other hand, the trend toward lower costs and shorter cycles for productivity improvement is intensifying, due to decreasing product prices and soaring resin prices, and customer requirements are becoming more demanding each year. The DVD-Video disc consists of two substrates, each of thickness of 0.6 mm, which is half that of the CD. Therefore, the tilt angle of the substrate and the ability to transfer fine patterns of the stamper surface onto the optical disc are important elements to achieve the required quality. The following two factors are involved in shorting the cycle time:

Repetitive stability of the molding machine and its ability to complete measurement within a cooling period of 1.0 second

Cooling efficiency and balance on the mirror surface of the mold

This report identifies the problem in 2.0-sec high-speed DVD-Video disc molding and describes how we have achieved this high-speed molding technology as an industry first.

キーワード：ディスク成形機，DVD，温度制御，ハイサイクル

### 1 まえがき

近年DVDプレーヤおよびDVDゲーム機の急速な普及により、DVD・Videoディスクの需要が世界的に急増している。その反面商品価格の下落や樹脂代高騰に伴う生産性向上に向けたコストダウンおよびサイクル短縮の動きが活発化し、年々客先要求レベルが高くなっているのが現状である。

現在DVD・Video業界での最速サイクルは、射出成形機1サイクル2.0秒、DVD-Rで1サイクル4.0秒で生産を行って

いる。サイクル短縮については、成形機はもとより金型をはじめ金型温調機、取出し機といったディスク成形システム全体を捉えアプローチしなくては達成できない。

本報では、ディスク成形機Molding sub system(MSS)でのDVD・Videoディスク2.0秒サイクル成形課題とその達成方法について報告する。

### 2 ハイサイクルディスク成形システムの概要

図1は、ハイサイクルディスク成形機 Molding sub

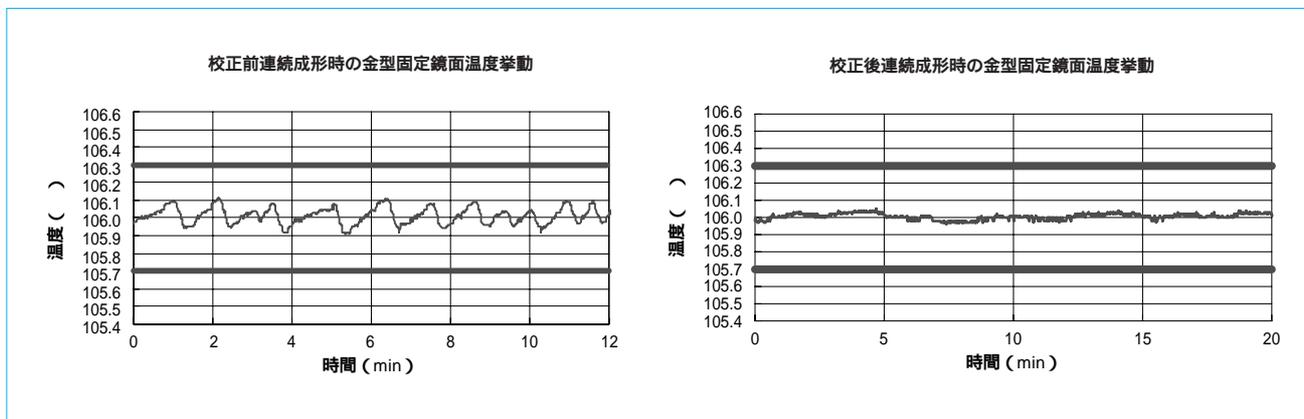


図2 連続成形時の金型固定鏡面温度挙動  
Temperature transition of fixation side mirror mold

systemである。全電動式射出成形機SD40E，ディスク取出し機，金型温度調整および金型の四つのユニットから構成されている。

### 2.1 全電動射出成形機SD40E

ディスク成形機SD40Eは，設計段階で2.0秒サイクル対応を考え，大容量・高応答同期ビルドインサーボを搭載し，滑らかで高速，低振動の型閉動作になっている。型締精度については，タイバーに設置した軸力センサにてタイバー延び量を正確に型締力にフィードバックさせ，ばらつきを低減をはかっている。そして，電動成形機の特長の一つである高精度な位置制御により金型キャピティ寸法空間のコントロールを実現し，またサイクル短縮に欠かせない高速計量による計量時間短縮が可能となっている。

### 2.2 金型温度調整機

ハイサイクル成形では，金型温度制御は重要要素の一つである。特にスタンプ情報面の微細形状を基盤に忠実に転写させるべく，固定・可動鏡面，スプルーブッシュおよびカットパンチをそれぞれ個別に温度制御をしている。通常成形では一つの温度調整機にわたり配管をするが，それでは各金型温度調整箇所に必要な流量の確保ができない。そこでディスク成形で使用する温度調整機仕様は，清水を150℃まで加温して使用している。清水を使用する理由は，ポンプ性能を上げなくても高い比熱の媒体を用い熱交換効率を上げることができるからである。これにより，ディスク基板品質の正確調整が可能となっている。また，絶対温度に対する偏差の校正も行っている。図2に示すように，偏差を校正することで0.1℃のバンドにて制御が可能となっている。

### 2.3 基板取出装置

ディスクは表面上に微細なビット情報が転写されていることから，金型から取り出す時は限られた狭い部分に取出しパットを合わせ基板取出しを行う。取出し精度位置確保と高速取出し時に，基板変形させない工夫が施されている。それにより，取出し時間を100秒以下で取り出すことが可能となっている。

## 3 成形サイクル2.0秒での課題とその達成方法

成形サイクルを短縮する上で問題となるのが，下記のディスク基板品質の保持ができなくなることである。

金型内に装着してあるスタンパー表面の微細凹凸の形状情報を正確にコピーする転写が取れなくなる。(情報とは主に映画，アニメおよび音楽である)

再生時に，基板にレーザー光を照射しデータが記録してある部分からずれて，基板そり角度調整ができなくなる。そり角度の種類は2種類あり，径方向のそり角度をRadial-tiltと呼び，周方向のそり角度をTangential-tiltと呼ぶ。

再生時に，基盤にレーザー光を照射し，反射光の強弱信号を制御する光学特性が取れなくなる。具体的に光学特性の複屈折が悪化することである。

，については金型温度を上げると改善するが，については金型温度を下げる方向の改善となりお互い相反する。そこでお互いのバランスを保つポイントを見つけ，そこで基板品質をコントロールすることになる。この基板品質をコントロールする重要な箇所である金型について，今回改善を実施しサイクル短縮を成功させた。

### 3.1 ディスクハイサイクル金型

ディスク金型基本構造は，平板状の1個取りでセンタースプルーゲートである。樹脂の流れは，金型中心部より均等に径方向の流れるRadial flowにより，金型冷却構造はゲート近傍を先に冷却し，次に外側のゲートより遠いところを冷却するような冷却回路構造となる。

金型構造上，固定可動側との芯を保つべく4本のガイドポストを装備し，ズレが発生しないようにしている。型内でのゲートカット機構や製品突出しについては，従来の方式で行っている。

#### 3.1.1 金型温度制御の必要性

射出成形にてサイクルを短縮する場合，金型内に充填した溶融樹脂を速やかに固化させるには，有効的に熱を取り去らねばならない。したがって，通常は金型温度を低温に保ち材料の固化スピードを速める。しかしディスク基板(薄肉成形品)にあっては，金型温度が低いと射出された材料の流れが悪くなり，キャピティ内に充填しにくい。成形品の物理的強度，スタンプに対する転写性低下および光学ヒズミに影響を及ぼし，成形品の品質確保ができなくなる。サイクルを短縮するに当たり金型温度を低くするだけではなく，成形材料，形状および品質の性質を再確認した上で，適切な金型温度分

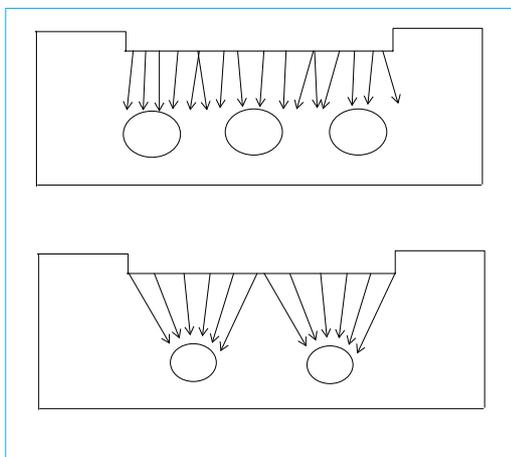


図3 金型熱伝達経路の概要  
Outline figure of heat transfer path of mold

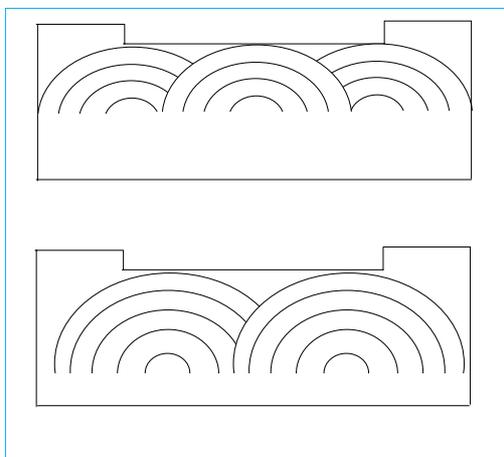


図4 金型温度勾配の概要  
Outline figure for temperature gradient of mold

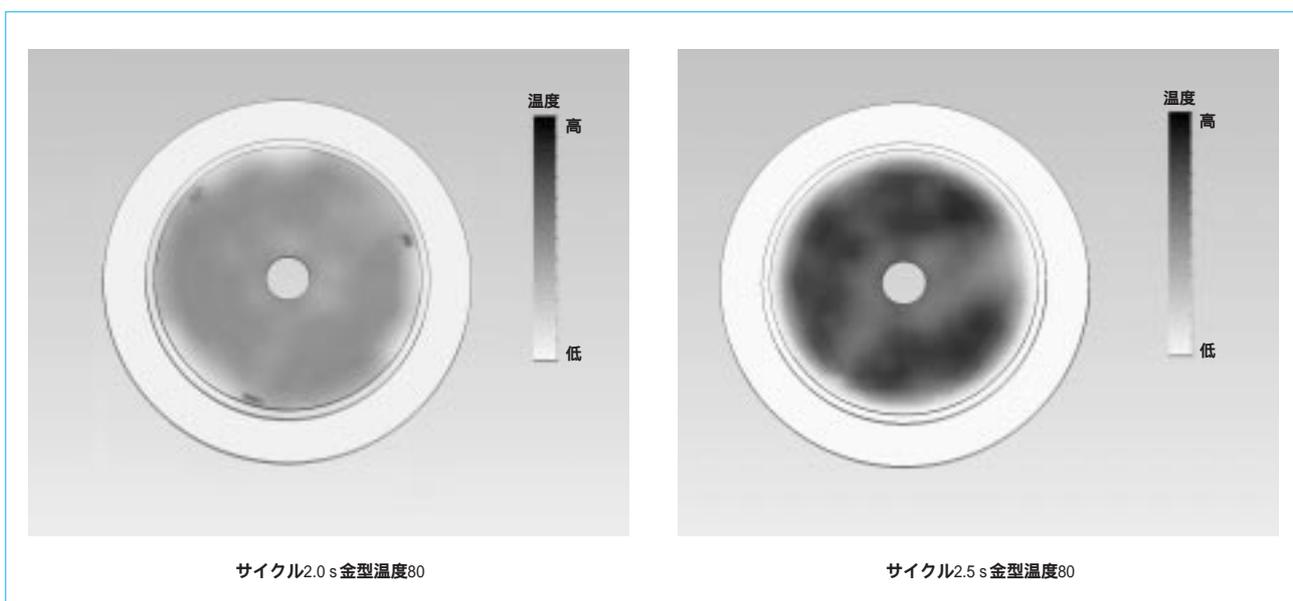


図5 鏡面温度分布  
Temperature distribution of mirror

布と成形品を均一に冷却する技術を金型に盛り込む必要がある。

### 3.1.2 転写確保の金型冷却溝（水路）設計と温度分布

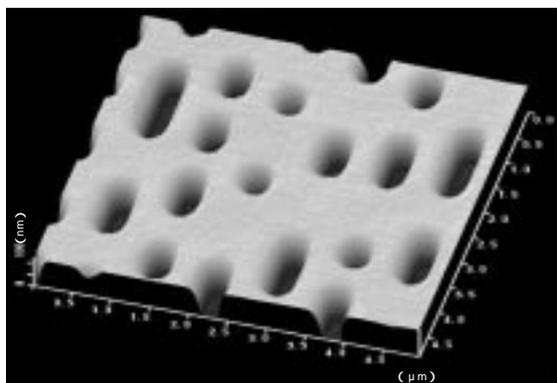
一般成形金型に於ける冷却溝の分布決定は、外部からの樹脂供給熱量に応じて配置するのが一般的な考え方である。Meryickは、冷却溝配置について以下に記す注意をしている。

例えば、図3 および図3 に示す同一面積を持つ成形品金型を比較したとき、水路の本数と大きさにより伝熱経路を直線で比較してみると、図3 はキャビティ面に傾斜していることが分かる。さらに、図4 に示す等温線を各水路の中心とした同心円で結ぶと、温度分布は図4 よりも図4 の方が冷却溝からキャビティ面までの温度の差が大きくなっていることが分かる。このことから、成形サイクルを短縮する場合は、金型温度不均一問題を発生し最適な冷却がされにくい。成形品には転写ムラが基板内で発生し、品質を確保できない状態になる。したがって、冷却溝の大きさ、個数および配置場所を検討する必要がある。

図5に、金型冷却溝テストをした結果を示す。図5は、今回サイクル2.0秒用として冷却溝の配置、個数および大きさの最適化されたものである。図5は、従来金型である。サイクルは遅く、かつ鏡面全体での温度分布にムラが大きいため、その鏡面部品を使い、DVD・Videoの転写確認テストを実施した。その結果、サイクル短縮2.0秒での転写の確保ができた。転写が忠実に再現された状態の基板表面を観察すると、図6に示す大小大きさの違う14のピットの模様を確認できる。

### 3.1.3 機械特性（そり角）と金型温度分布の影響

金型温度分布は、成形品が金型から取り出される直前までに均一な温度になり、かつ温度コントロールが可能で短時間に熱交換ができることが必須である。特に、金型キャビティ表面は1サイクル中に大きく変動する。図7に示すように溶融樹脂がキャビティ表面に接触すると表面温度は急上昇し、樹脂が冷却固化の進行に伴い次第に温度は降下する。それぞれサイクル3.5秒と4.0秒での金型表面温度プロファイルを測定した結果である。成形品を取り出すときの温度が、



サイクル2.0 s  
トラックピッチ0.74 μm  
ビット深さ0.1 μm ビット幅0.3 μm  
最小ビット長0.41 μm

図6 DVD・Video基盤表面ビット形状  
Pit form of DVD-Video disc surface

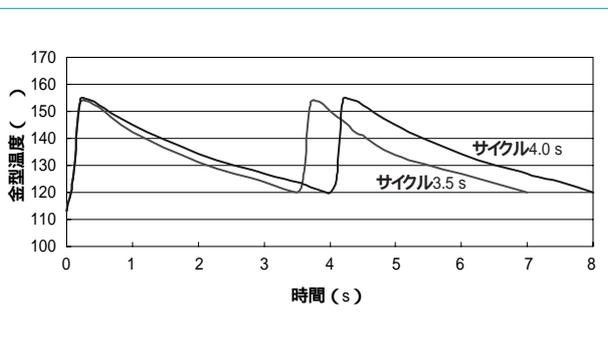


図7 金型キャビティ表面温度  
Surface temperature of mold

使用材料の熱変形温度以下になっていることが分かる。(ディスクグレードポリカーボネート熱変形温度 $T_g = 126$  )  
これより、ターゲットにするサイクルに対し外部から与えられた熱量に等しいだけの熱量を奪い去ることができるような金型温度分布にしなければならないことが分かる。サイクル2.0秒で金型表面温度が材料PCの $T_g$ 温度より高い第1～2世代のディスク金型では、サイクル短縮を行うと図8に示すデータのようにディスク基板周方向のそり角度 (Tangential-tilt) が大きくばらつく。規格範囲 $\pm 0.3$  degを超えた基板は、ポテトチップスのようなツイスト状になってしまう。今回の開発した第3世代金型では、温度コントロールをサイクル2.0秒に対応可能にして短時間に熱交換ができる設計にすることで、図9に示すように、ディスク基盤周方向のそり角度 (Tangential-tilt) が規格範囲 $\pm 0.3$  degを超えない真っ直ぐな基板を取り出すことができた。

#### 4 むすび

今回DVD・Video成形で、サイクル2.0秒達成ができた。サイクル短縮に関して、重要な点を次に示す。

- a . 金型冷却構造の見直し、主に温度分布と冷却効率。
- b . 冷却構造見直しから起こる各部品間のクリアランスとその精度。

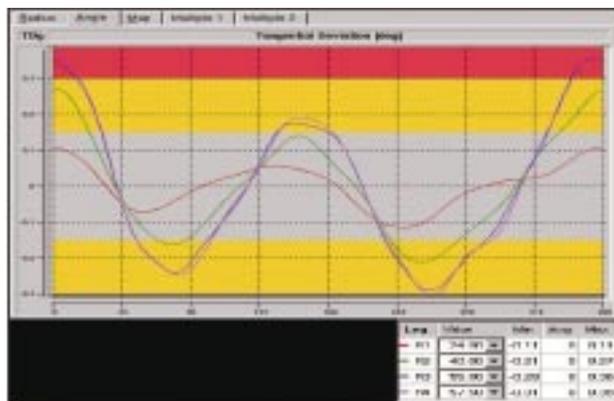


図8 基板のそり角度 (従来)  
Tangential-tilt (Conventional)

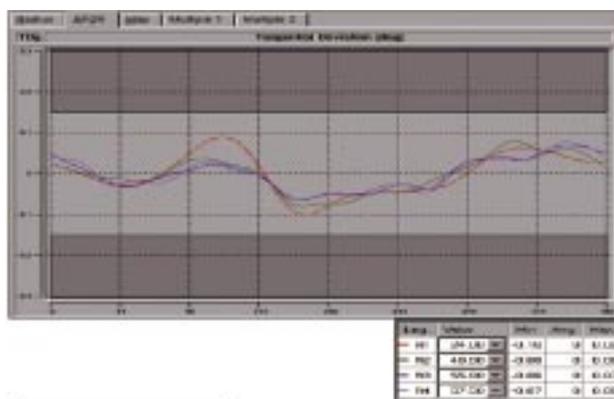


図9 基板のそり角度 (改善後)  
Tangential-tilt (Improved)

- c . 電動射出成形の型締精度と繰返し安定性。
- d . 成形機および金型構造をはじめ、温調機および取出し装置などのシステム全体でのコーディネートとそれぞれの特徴を最大限に引き出す成形技術。

現在、DVD・Videoを2.0秒にて客先で生産稼働している。

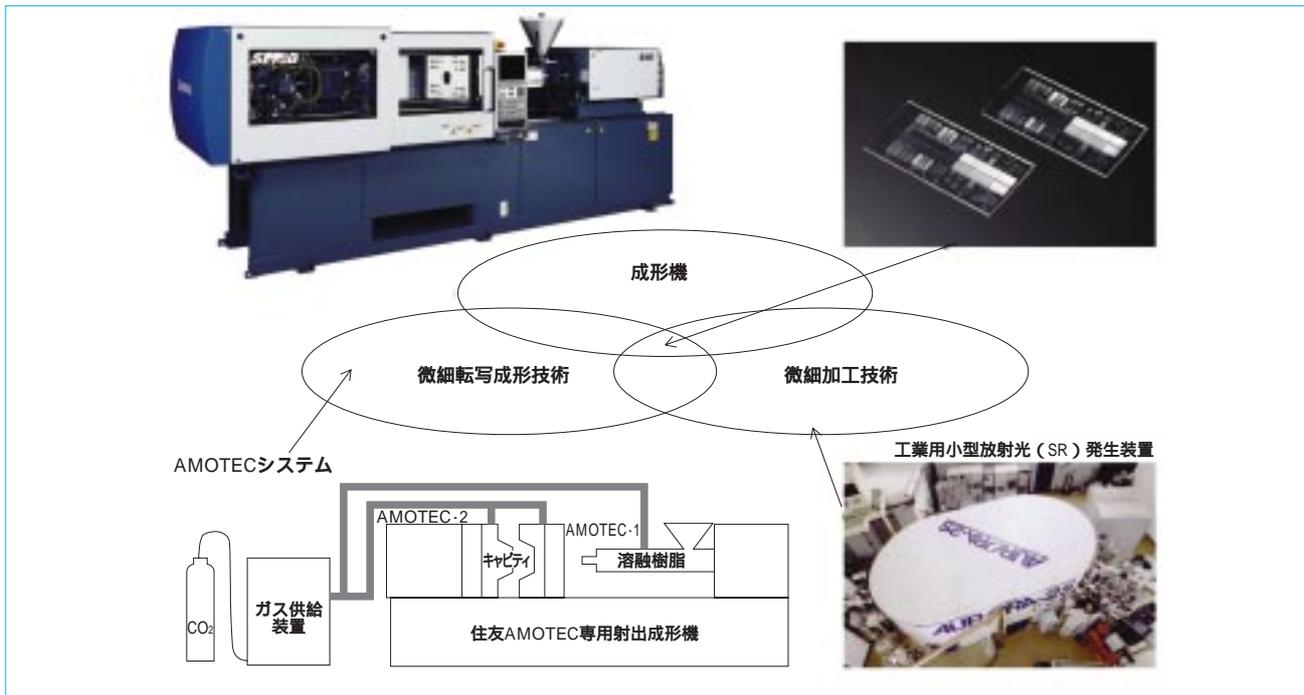
(参考文献)

監修 岡田清. 射出成形金型 第5版. p.66, 1988 .

# 微細転写成形技術の開発

## Development of Micropattern Transferring Technology

徳能 竜一\* 張 延平\*\* 加藤 隆典\*\* 赤松 雅治\*  
 Ryuichi TOKUNOU Yan Ping ZHANG Takanori KATO Masaharu AKAMATSU



微細転写成形技術  
 Micropattern transferring technology

近年、プラスチック成形において導光板や光学素子では製品の肉厚を薄肉化したり、成形品表面により微細な形状を付与することにより、高付加価値成形品を生産する努力がなされている。金型加工機の能力や成形機精度が向上した結果、成形品へより厳しい品質要求を求められるようになってきている。成形品開発現場では、金型表面形状をより微細化した製品（金型加工幅に対し加工深さが深い＝高アスペクト比製品）に対する成形可否が技術課題の一つとなっている。

本報では、高アスペクト比製品生産の金型加工技術（LIGA）ならびに高アスペクト比射出成形技術（AMOTEC）を紹介し、これを利用した成形事例を紹介する。

Recent efforts in plastic injection molding have produced high value-added moldings, such as thinner wall optical waveguides and elements, and micropattern molded surfaces. As the capability of mold processing machines and the precision of injection molding processes have improved, molding quality requirements have become correspondingly more stringent. In the field of molding development, one of the technical challenges is how to form a product using the mold provided with a micropattern on its surface (especially a product with a high aspect ratio). This report reviews the mold processing technology (LIGA: Lithographie Galvanoformung Abformung) for high aspect products and the technology of high aspect injection molding (AMOTEC: Asahi Molding Technology with CO<sub>2</sub>), and also reports on the experimental results of molding produced by using a LIGA stamper and AMOTEC injection molding.

キーワード：微細転写，高アスペクト比，射出成形

### 1 まえがき

近年、プラスチック成形では、導光板や光学素子のように、製品の肉厚を薄肉化したり、表面形状をより微細化することにより、高付加価値成形品を生産する努力がなされている。金型加工機の加工能力や成形機能力が向上した結果、成形品への品質要求はますます厳しくなっている。成形開発現場では、金型表面形状をより微細化した製品（金型加工幅に対し加工深さが深い＝高アスペクト比製品）に対する成形可否が技術課題の一つ

となっている。微細な形状を持つ製品の成形技術が確立し、これが成形業界におけるニーズとうまく適合すれば市場が拡大する可能性がある。

当社においても、微細成形品の加工技術の研究を行ってきた。微細形状を金型に加工する工程では、精密機械加工や微細放電加工が使われる。これらの加工法はパターンの大きさに制約があり、微細形状の金型形成が困難である。これらの加工法以外にも、半導体技術を用いてシリコン（Si）を高アスペクト比ドライエッチングし、この構造体から電鋳転写す



図1 AURORA-2S

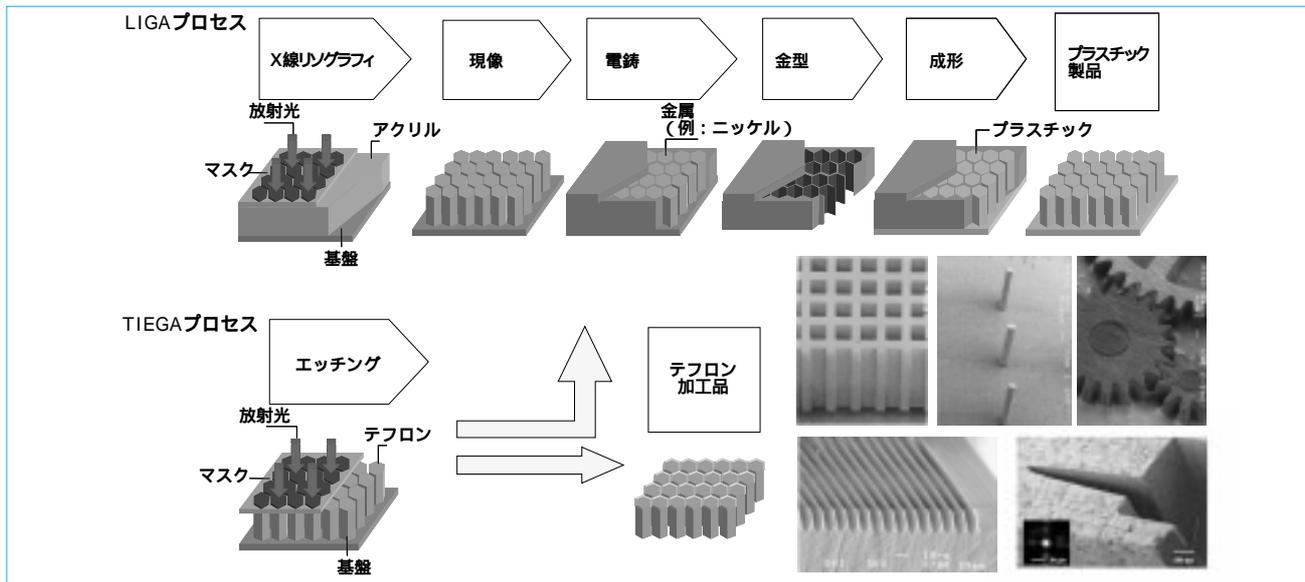


図2 LIGA, TIEGA プロセスおよび加工品例  
LIGA(a) and TIEGA(b) processes, and examples of microstructures and microparts

ることによって金型を形成することも試みられている。この方式では、エッチング壁面の面粗さが荒い、壁面が逆テーパになるなどの問題があり、成形品の離型特性に悪影響を及ぼすことがある。また、製品を射出成形する工程では、仮に高アスペクト比の金型ができたとしても、微細形状の末端まで樹脂を入れ込むことは難しく、完全な転写条件を現有設備の機械で設定することが困難であった。

これらの問題点を解決する手法として、本報では、まず高アスペクト比加工性および加工壁面性状特性に優れた放射光X線を用いたLIGA(Lithographie Galvanoformung Abformung)プロセスを紹介し、LIGAによる製作された金型(スタンパ)を形成した事例を説明する。さらに、転写性の向上が可能な成形手法であるAMOTEC(Asahi MOlding TEchnology with CO<sub>2</sub>)を紹介し、これを利用した射出成形による高アスペクト比製品の成形事例について紹介する。

## 2 放射光微細加工技術

### 2.1 放射光の特性

シンクロトロン放射光(後出、放射光)とは、光速に近い速さまでに加速された電子の塊を電磁石の力で曲げることで電子軌道の接線方向に放射される光(電磁波)のことである。この放射光は、従来の光源に比べてその明るさ(輝度)

が極めて高く、赤外からX線(ガンマ線)までの広い波長領域をカバーしており、マイクロ・ナノ微細加工などの物づくりの手段として、無限の可能性を秘めている。

当社では、超電導磁石を使用した世界最小の放射光装置『AURORA』の開発に成功した。1995年以降、本装置は立命館大学にて安定に稼働し続けている。その後、常電導磁石を使用した小型放射光装置『AURORA-2』を開発し、産業用に特化した装置(2S型)を当社内に設置した(図1)。装置の小型化および商品化の進展により、従来、大型の研究施設でしか行うことができなかった放射光利用がより身近になり、産業利用(特に微細加工技術としての利用)が急速に進んでいる。

### 2.2 LIGA, TIEGAプロセス

LIGAプロセスは、1980年代初期にドイツのカールスルーエ原子核研究所(FzK)にて開発された。遠心分離によるウランの同位体分離に用いる高精度微小ノズルの安価な製造方法の微細加工プロセスである。放射光装置から出てくるX線の優れた直進性を生かした深いリソグラフィー(描画法)により、レジスト(感光性樹脂、例えばアクリルPMMA)をパターンニングし、そのパターンを鋳型として電鍍で金型を製作し、成形によって各種成形材料の微細部品の大量生産を行う(図2)。深さ(高さ)数100μmで幅は数μmといっ

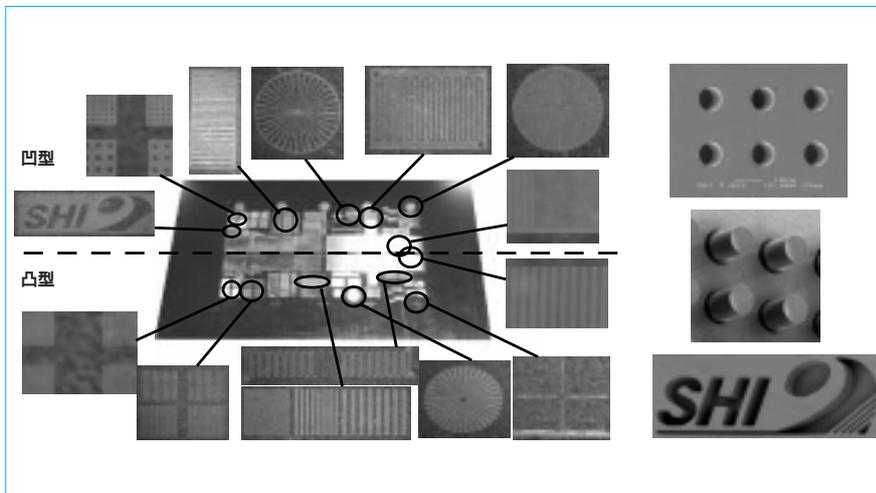


図3 LIGAスタンプ(左)と拡大SEM(右)  
LIGA stamper (left) and expansion SEM (right)

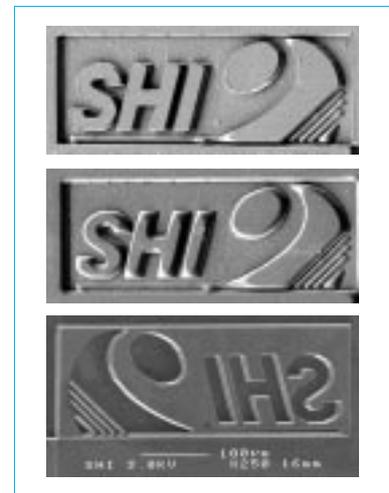


図4 成形品(上: AMOTEC, 中: 通常成形)およびLIGAスタンプ(下)  
SEM photograph of molding (upper : AMOTEC molding, inside : normal molding) and LIGA stamper (under)

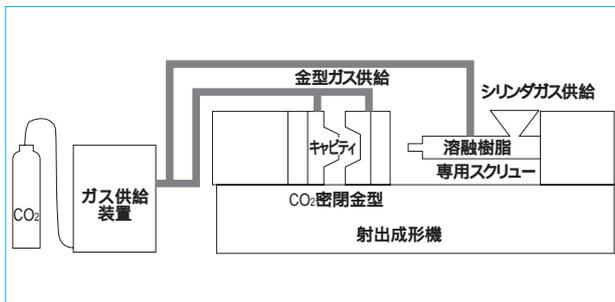


図5 AMOTEC専用射出成形機構成  
Injection molding machine composition AMOTEC

た高アスペクト比(水平方向の幅と高さの比率)の微細構造体を製作することができ、その加工精度は $1\mu\text{m}$ 以下で、加工面粗さも $50\text{nm}$ 級という平滑度での加工が可能である。

しかし、LIGAが適用できない材料もある。フッ素系高分子や光学結晶(LiFおよびKBrなど)が、それに相当する。特にフッ素系高分子の一つであるテフロン(PTFE)は電気的、熱的および化学的特性に優れており、様々な分野での微細部品作製にとって有用な材料の一つであるが、一般的には数千 $\mu\text{m}$ の高さで数十 $\mu\text{m}$ の幅を持った微細構造を作製することは困難である。当社では、レジストPMMAの代わりにPTFEを使って、放射光照射により真空中で直接PTFEをエッチングする微細加工技術を開発し、独自のTIEGA(Teflon Included Etching and GALvanic forming)プロセス(図2)を保有している。また放射光によるエッチングでは、PTFEなどのポリマだけではなく、光学結晶の加工も可能である。

### 2.3 金型(スタンプ)の形成

LIGAプロセスを用いて、射出成形用の高アスペクト比Ni電気鋳造微細金型(スタンプ)を製作した。図3に、LIGAスタンプの外観および各部形状と一部の電子顕微鏡写真を示す。電鋳材には、高硬度で低応力のスルファミン酸Niを採用している。LIGAスタンプの外形は $42\times 75\text{mm}$ 、厚みは $500\mu\text{m}$ である。表面パターン部は、短軸方向中心線に対して上下に凹凸反転形状の線対称パターンとした。パターン形状は、様々な微細成形ニーズにこたえるべく、ドット、格子、十字、L/S

および曲線流路など、種々のパターンを入れ込んだ。最小幅は $5\mu\text{m}$ 、深さ(または高さ)は $15\mu\text{m}$ とし、最大アスペクト比を3とした。図4には、スタンプおよび成形品(後述)の電子顕微鏡写真を示した。

## 3 高アスペクト比射出成形技術

### 3.1 AMOTEC

AMOTECは、旭化成ケミカルズ株式会社が開発した成形加工技術である。当社は同社と2001年1月1日より技術実施許諾契約を締結し、この用途技術開発を進めてきた。本技術は、熔融樹脂に炭酸ガスを溶解させ、良好な可塑剤として作用することを利用した技術で、樹脂充填時の流動性改善が可能になる。また、射出前に金型キャビティ内に炭酸ガスを充填し、その後射出することで高転写性が得られる。AMOTECの設備は、ガス供給装置、専用可塑化シリンダおよび気密金型が必要である(図5)。

炭酸ガスが熔融樹脂に溶解すると、 $\text{CO}_2$ 分子が高分子の隙間に入り込む。この状態では、高分子同士の絡み合いが緩和し、分子が動きやすくなる。その結果、熔融樹脂の粘度を下げたり、樹脂の固化温度を下げるができる。

この原理から、炭酸ガスの圧力と成形機の成形条件を適切に設定すれば、通常成形よりも転写性を向上できる。本報では、高アスペクト比射出成形に利用した例について紹介する。

### 3.2 成形実験

高アスペクト比のLIGAスタンプを金型に取り付け、AMOTECの有無により成形品の転写性を比較した。実験装置の概要を次に示す。

成形機	SE75DU C160S	22当社製
炭酸ガス供給装置	MAC-100	旭化成エンジニアリング株式会社製
成形品	肉厚 $0.8\text{mm}$	2個取り 微細パターン入りプレート(図6)
金型	固定側にスタンプを取付け、可動側は鏡面、	微細形状の加工深さは $15\mu\text{m}$

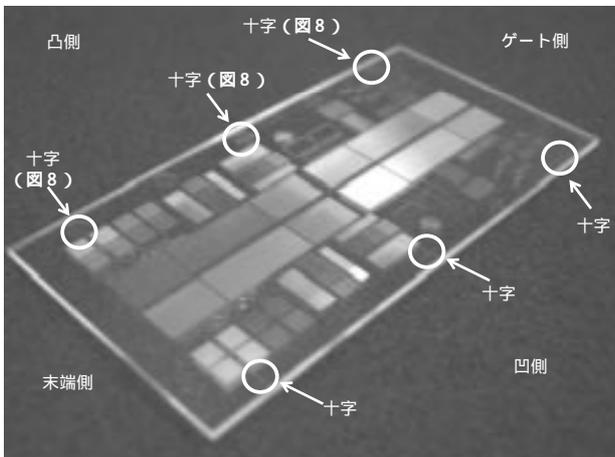


図6 成形品およびレーザー顕微鏡による測定箇所  
Molded product and measurement points with laser microscope

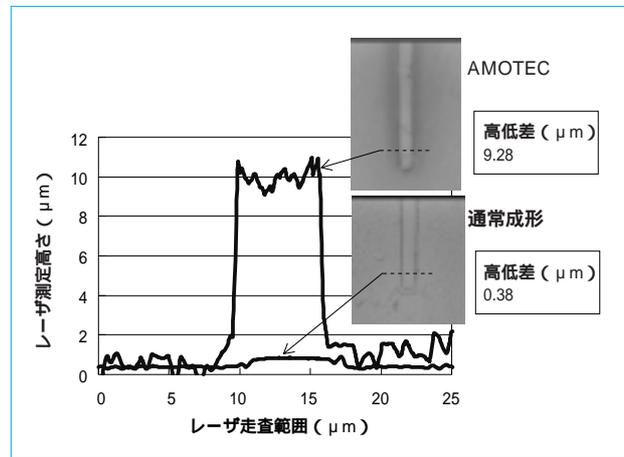


図8 転写高さの比較 (測定用十字パターン)  
Height comparison of transferred pattern (Cross pattern for measurement)

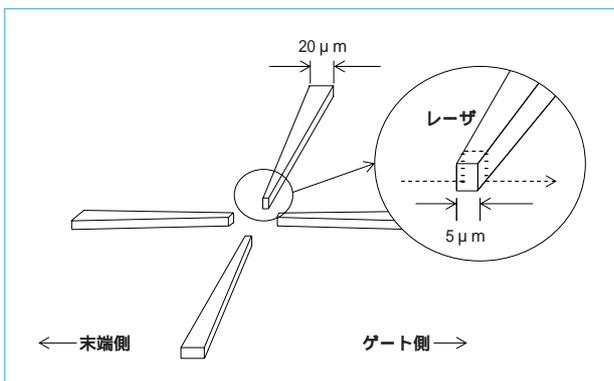


図7 転写高さの測定方法  
Measuring method of transferred pattern height

樹脂                   ポリカーボネード (PC)  
金型温度           スプル温調80   ポディ温調130  
樹脂温度           300

本実験では、通常成形とガスあり成形を行い、連続成形でサンプルを採取した。成形品の表面形状は、キーエンス製レーザー顕微鏡VK8150を使って測定した。測定した場所を、図6の丸印に示す。これらの微細形状について、倍率200倍まで拡大し、拡大部の高さをレーザー顕微鏡により測定し、高さを比較した。括弧内番号の図に、測定結果を示す。

図7は、測定するパターン形状の模式図である。十字パターンは、図7のような形状をしている。パターンの場所は図6に示すように、成形品凹凸両端に複数配置されている。なお、凹側が凹型形状、凸側が成形品の凸型形状である。一般的には凸側の方がスタンプの微細パターン部に樹脂を入れ込むことから、転写高さが出にくい。転写高さ測定場所は、図7の中で最も溝幅が狭く(5μm)、アスペクト比3(深さ15μm)の部分とした。レーザー走査範囲は、図の点線部に示すように、この付近を横切るように取っている。

十字パターンにおいて、通常成形とAMOTECの転写高さを比較した結果を図8に示す。グラフの横軸はレーザー走査範囲、縦軸は転写高さの測定値である。グラフの脇には、顕微鏡の撮影写真を添付した。AMOTECを使用すると、写真を比較しても転写高さが上がっているのが分かる。測定値を見

ると、転写高さが0.38 μmから9.2 μmに向上している。

また、微細転写形状の中でも比較的寸法の大きい数10 μm以上のパターンについて成形品を観察した(図4)。通常成形でも転写高さは出るものの、側面部のエッジは完全に転写せず、コーナ部への充填率も悪い状態で成形される。しかしながら、AMOTECを使用することで、シャープなエッジを持った、充填率も高い微細転写が可能となることが分かった。

### 3.3 今後の課題

今回の射出成形テストでは、AMOTECを使用することにより、部分的にはあるが、転写高さが20倍近く向上することを確認した。成形品の転写高さは、成形品の肉厚、加工パターンにより違いがあると考えられる。今後さらに成形品肉厚や溝幅および形状の違いによる転写性の評価を行い、射出成形で対応できる微細パターンに対しての知見を得たい。

## 4 むすび

放射光を利用したLIGAプロセスを用いて、高アスペクト比の金型(スタンプ)の製作を紹介した。

高アスペクト比転写が可能なAMOTECを利用し、上記スタンプを用いた金型を使って、高転写成形を行った事例を紹介した。

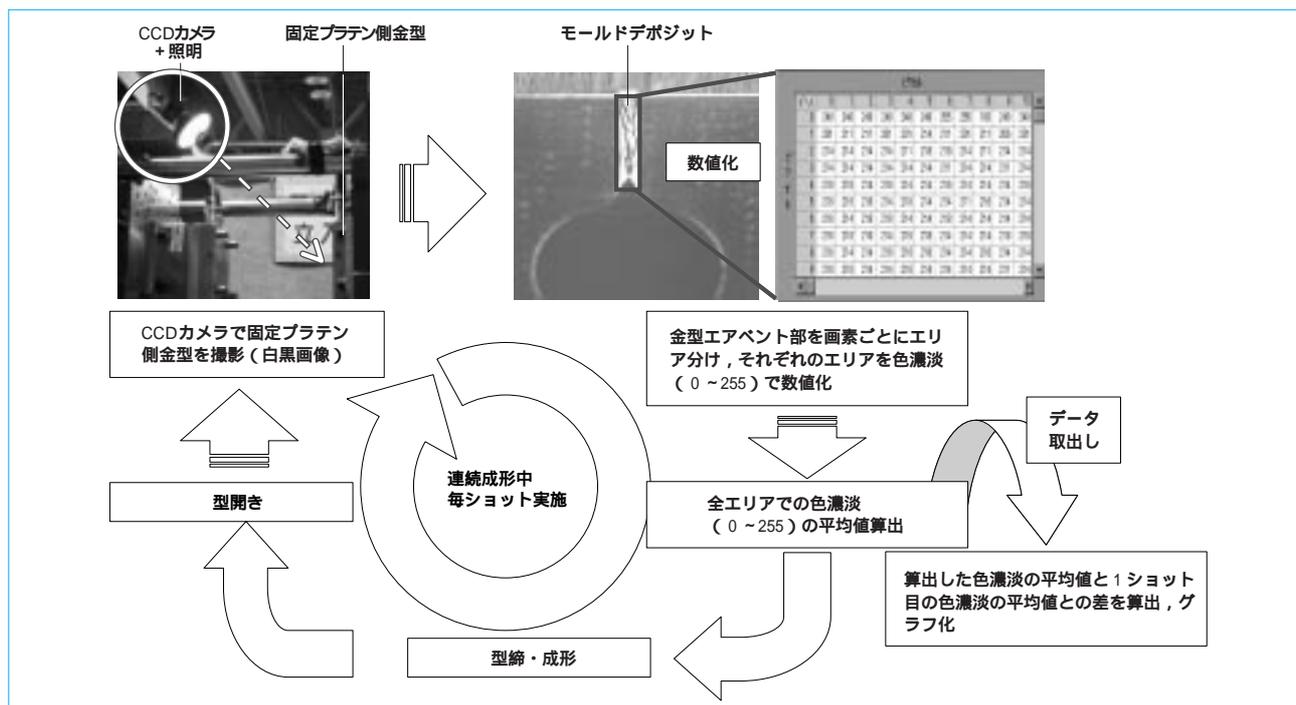
### (参考文献)

- 宇理須恒雄, 野々垣陽一, 加藤隆典, 張延平. 放射光による物作り - ミクロンからナノへ. 放射光, 14, 2, 6, 2001.
- 張延平, 加藤隆典. シンクロトロン放射光を利用した微細加工. Proc. of the 2nd Symposium on Accelerator and Related Technology for Application, Tokyo, 1999.
- P. ブレイ, J. モーア. LIGAプロセス: 微細加工製作技術. FPDジャーナル, 5, 1, 20, 1994.
- 加藤隆典. 放射光ドライエッチングによるテフロンのマイクロ加工. 溶接学会誌, 71, 3, 24, 2002.
- 赤松雅治. 炭酸ガスを利用したAMOTEC成形技術と射出圧縮成形による微細転写. プラスチックエージ, 49, 2, 101, 2003.
- 山本宏. 炭酸ガスを用いた新規樹脂加工技術. 化学経済, 3, 70, 2001.

# 画像処理によるモールドデポジット定量評価方法

## Quantitative Evaluation Method of Molding Deposit through Image Data Processing

山下 秀樹\* 早崎 寛朗\*  
Hideki YAMASHITA Hiroaki HAYASAKI



モールドデポジット定量評価方法  
Quantitative evaluation method of molding deposit

近年、プラスチック成形品への高機能化要求（薄肉軽量化、高耐熱化および複雑形状など）により、樹脂への添加剤の付加や高温での成形、金型キャビティの複雑形状化などに伴いモールドデポジットによる金型メンテナンスの短周期化が問題となっている。

モールドデポジット低減に対して、成形機・周辺機器メーカーより様々な商品が上市されている。当社においても、ALFIN やスミメルトスクリューなどの商品を上市している。しかしそれらの評価は生産現場での長期間連続成形による比較評価であり、社内テストで実施できる定量的な評価方法は確立されていない。

本報では、画像処理を用いたモールドデポジット定量評価方法の確立を行ったので報告する。

The requirements for injection molding of high performance plastic parts with thinner walls, higher heat resistance, and more complicated shapes have become more demanding. For precision molding, additives in plastic materials, injection at higher temperatures, and more complicated dies have been utilized, but the time between the die maintenances has been shortened due to the vulnerability of forming molding deposits. Various devices have been commercialized to reduce the formation of molding deposits by some manufacturers of injection molding machines and peripheral equipment. Our company is also marketing devices such as ALFIN II and SM screws. The performance evaluation of the devices can be made only after a long field operation, and no quantitative evaluation method is available for an in-house testing made in a short period of time. We have developed a quantitative evaluation method by visualizing the deposits and comparing their digitized shade of color through image data processing. This report presents the evaluation technology and the result of device evaluation.

キーワード：射出成形機，モールドデポジット，発生ガス，画像処理，金型

### 1 まえがき

モールドデポジットとは、プラスチック射出成形において金型の入れ子の隙間やキャビティの隅に付着する堆積物のことである。モールドデポジットの発生は、主に樹脂から発生するガスが金型に付着することにより発生する。近年のプラ

スチック成形品への高機能化要求（薄肉軽量化、高耐熱化および複雑形状など）により、樹脂への添加剤の付加や高温での成形および金型キャビティの複雑形状化などに伴い、モールドデポジットの発生も多くなっている。

モールドデポジットが堆積することにより、成形品へのショートショットの発生や成形品形状が正確に転写されなくな

表1 モールドデポジット評価方法  
Evaluation method of molding deposit

	短期間での評価が可能なこと	定量的に評価可能なこと	発生ガス量の違いにより評価結果に差があること	ショットごとの変化が分かること	使用樹脂に対する制約が少ないこと
未乾燥樹脂のパージングによるパージ塊中の気泡量を比較する方法		×注1			
成形不良現象までのショット数を比較する方法				×注2	
発生したガスの量を計測する方法			×注3		
発生したガスをモールドデポジットとして金型に堆積させ比較する方法	モールドデポジット質量比較			×注4	
	モールドデポジット色濃淡比較				

注1 気泡の量の定量化が困難なことから。  
 注2 成形不良現象が発生するまでの過程は評価できないことから。  
 注3 ガスだけではなくキャビティ中のエアも合わせて測定することから。  
 注4 モールドデポジットの質量を測定するには成形停止する必要があることから。

る不具合が発生する。これらモールドデポジットに起因する成形不良への対応として金型のクリーニングがあり、成形不良の解消が可能である。しかし、成形品の中には数時間の成形でモールドデポジットによる成形不良が発生する成形品も多くなっており、金型メンテナンスの頻度が大きな問題となっている。

モールドデポジット低減方法については、金型メーカーでは金型エアイベントの形状や成形条件での対応を行っており、また成形機・周辺機器メーカーではベント式スクリーシリンダやハングリーフィーダなどの樹脂から発生するガスを排出する商品を上市している。当社でも、真空可塑性装置ALFIN や低温可塑性スクリーであるスミメルトスクリーなどのモールドデポジット低減に対する商品を上市している。しかしこれらの評価は生産現場での長期間連続成形による比較評価であり、社内テストで実施できる定量的な評価方法は確立されていない。

商品の効果について定量的に評価を行うことは、技術力の進歩、商品の創出に対して大きく貢献するものである。そこで本報においては、モールドデポジットの低減技術および評価技術について述べ、それを基に定量評価方法の検討を行う。さらに、確立された評価方法での評価事例について報告する。

## 2 モールドデポジット低減技術

モールドデポジットは、主に樹脂から発生するガスが金型に堆積することで発生することから、大きく以下の三つの方法による対応が行われている。

### 2.1 発生ガスを低減する方法

この方法は、発生ガスの少ない樹脂の使用や成形条件による樹脂温度の低温化、または低温可塑性できるスクリーシリンダなどを使用する方法である。樹脂から発生するガスを少なくすることで、モールドデポジットの発生を低減する。

### 2.2 スクリーシリンダよりガスを排出する方法

この方法は発生したガスをスクリーシリンダ内から排出、脱気する方法で、ホッパ口からの脱気性能を向上させる樹脂材料の間欠供給可能な装置やホッパ口から積極的に脱気を行う真空引き装置、または溶融した樹脂から強制的に脱気を行うベント式スクリーシリンダなどがあげられる。

### 2.3 金型からガスを排出する方法

この方法は、発生したガスを金型から排出する方法である。低圧縮力での成形による金型パーティング面からの脱気性向上や金型温度を高く設定することによる、ガス付着量の低減など成形条件での対応がある。また、金型にエアイベントを設ける、さらにエアイベントより積極的に脱気を行う型内真空などの対応がある。

## 3 モールドデポジット評価技術

モールドデポジットや樹脂から発生するガスの評価方法について、どのような評価方法があるのか調査を行ったので以下に示す。

### 3.1 未乾燥樹脂のパージングによるパージ塊中の気泡量を比較する方法

この方法は、スクリーシリンダからの脱気性能を簡易的に比較評価できる方法である。未乾燥の樹脂は吸湿していることから、樹脂の加熱溶融時に水蒸気やガスがスクリーシリンダ内に発生する。このままパージングや成形を行うと、パージ塊や成形品の中に水蒸気やガスが気泡となって発生する。この気泡の量を比較評価する方法である。

### 3.2 成形不良現象発生までのショット数を比較する方法

この方法はフィールド評価として一般的に行われている方法で、モールドデポジットにより発生する成形不良現象発生までのショット数や期間を比較する方法であり、金型メンテナンス頻度そのものである。評価には比較的長期間の連続成形が必要であり、社内テストとして行うには、短時間でモールドデポジットによる成形不良現象が発生するような成形品、使用樹脂および成形条件の選定が必要となる。

### 3.3 発生したガスの量を計測する方法

この方法は、金型キャビティにチューブを設け、射出・保圧によりキャビティ内に充填されるガスおよび空気をチューブより抽出、測定する方法である。

### 3.4 発生したガスをモールドデポジットとして金型に堆積させ比較する方法

この方法は、モールドデポジットを堆積させ、堆積量を比較する方法である。堆積させたモールドデポジットをどのように比較するかは様々あるが、写真などによる定性的な比較が多いようである。

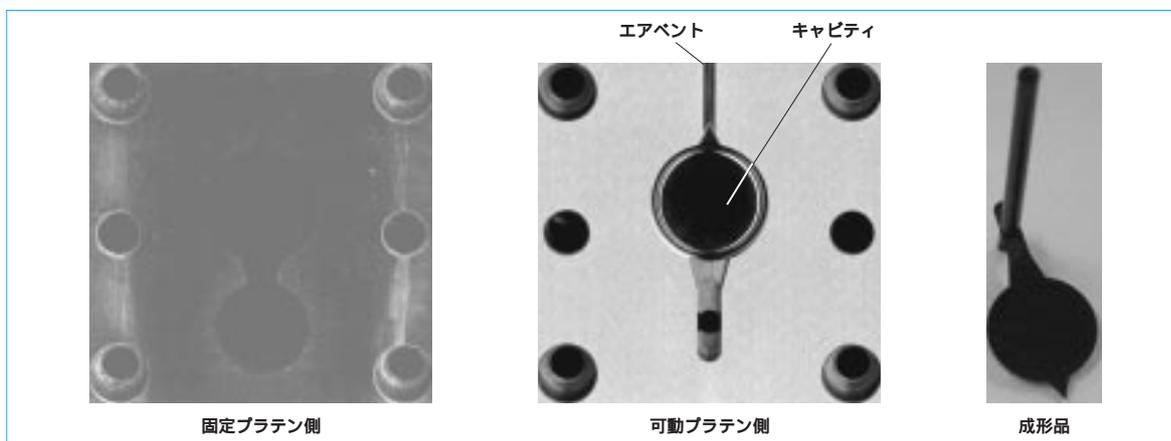


図1 モールドデポジット評価金型および成形品  
Mold and products in molding deposit evaluation

#### 4 モールドデポジット定量評価方法の確立

モールドデポジットの定量評価方法を検討するに当たり、以下のことを重要視した。

短期間での評価が可能なこと。

社内テストを前提としていることから、短期間での評価が必要である。

発生ガス量の違いにより評価結果に差があること。

例えば、設定温度を上げると樹脂から発生するガス量は増加する。設定温度を高温設定と低温設定で比較を行い、差があることを確認することで評価可能かどうか判断できる。

定量的に評価可能なこと。

定性的な評価ではなく定量的に評価できることにより、効果の度合いを数値化できる。

モールドデポジットの堆積状況推移が分かること。

モールドデポジットの堆積状況が毎ショットずつ増加していくことが評価可能であれば、金型メンテナンス頻度の予測が可能になると思われる。

使用樹脂に対する制約が少ないこと。

どのような樹脂に対しても評価できることが好ましいが、フィールドで問題となっている樹脂についてはできるだけ検討できるようにしたい。

前章での各評価方法について、以上の5項目での評価を行った結果を表1に示す。表中の○は可能、△は限定項目ありで可能、×は不可であり、一つでも×がある評価方法は不適と判断した。

検討結果より重要視する5項目全てに×がない、発生したガスをモールドデポジットとして金型に堆積させ色濃淡で定量化する方法にてモールドデポジットの定量評価方法の確立を検討することとした。

#### 5 モールドデポジット定量評価方法の確立

モールドデポジット定量評価について、その装置、シリンダ温度の違いによる評価および評価事例を報告する。

##### 5.1 モールドデポジット評価装置の概要

モールドデポジット評価用金型および成形品を、図1に示す。評価用金型を製作するに当たり、モールドデポジットがエ

アベント部に集中して堆積するように、最終充填位置がエアベント部になるような成形品形状とした。また堆積したモールドデポジットを写真撮影できるように、エアベントを金型パーティング面に設けた。写真による評価は2次元であり、堆積するモールドデポジットは3次元であることから、モールドデポジットの厚み因子の影響を小さくするべく、エアベントの隙間を0.01 mmで一様とした。

今回検討を行ったモールドデポジット定量評価方法を、冒頭の図に示す。連続成形開始後、繰返し以下～の動作を毎ショット実施する。

型開後のタイミングでCCDカメラを用いて固定プラテン側金型を撮影。(白黒画像)

撮影した画像のエアベント部を画素ごとにエリア分けを行い、それぞれのエリアについて色濃淡である0～255で数値化。(0:黒, 255:白, 1～255:灰色を表す)

全エリアの色濃淡平均値算出。

型締・成形。

上記で得られた各ショットの色濃淡平均値のデータは、テストごとに初期値が若干異なる。そのことから、1ショット目の色濃淡平均値を1として、その差で評価をすることで補正することとした。

##### 5.2 シリンダ温度の違いによる評価

前節で説明した評価方法を用いて、シリンダの設定温度を高温設定と低温設定で各2000ショット評価を行った結果を、図2に示す。評価テストのテスト装置、成形条件は、表2に示す。なお、本評価では短期間で評価できるようにシリンダ設定温度を使用樹脂の上限温度以上で使用しており、また、モールドデポジットが堆積しやすいよう金型温度もできるだけ低く設定している。

図2の結果より、以下のことが明らかとなった。

CCDカメラ写真より、高温設定と低温設定でモールドデポジットの堆積状態に明確な差がある。

高温設定と低温設定で色濃淡の平均値に明確な差がある。

CCDカメラ写真よりモールドデポジットは、成形品の角部分とエアベントの段差部より堆積が始まっている。

高温設定2000ショット目の写真より、堆積したモールドデポジットにはエアの通り道が確認できる。

濃淡平均値が約10でモールドデポジットによる成形不

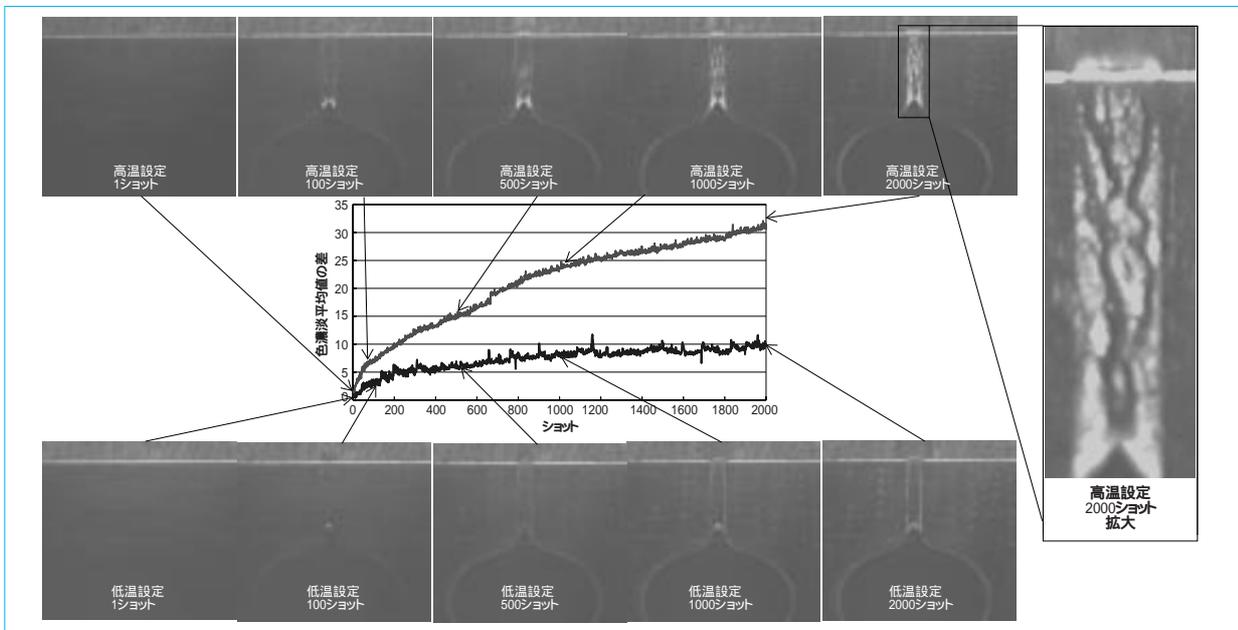


図2 シリンダ温度の違いによる評価結果  
Evaluation result in temperature difference of cylinder

表2 テスト装置および成形条件  
Test device and molding conditions

成形機	当社製 SE30DU	
スクリーシリンダ	18シングルフライトスクリー	
金型	モールドデポジット評価金型	
樹脂	旭化成ケミカルズ株式会社製 PPE ザイロン A0210	
シリンダ設定温度	高温設定	270/310/270/260/60
	低温設定	260/280/270/260/60
計量工程	スクリー回転速度	100 min <sup>-1</sup>
	背圧	4 MPa
射出工程	射出速度	20 mm/s
	保圧圧力	20 MPa
保圧工程	保圧時間	1 s
	型締力	294 kN
金型設定温度	40	

良が発生すると仮定すると、シリンダ設定温度を下げることで約10倍の金型メンテナンス頻度長寿命化効果が推定できる。

以上の結果より、本評価方法はモールドデポジットの堆積状態・推移の可視化が可能であり、また定量的な評価が可能であると判断できる。

### 5.3 モールドデポジット低減アイテム評価事例

確立できた評価方法にてハングリーフィーダの効果について検証を行った。ハングリーフィーダとは樹脂材料の間欠供給機能と真空引きの機能を併せ持つ装置であり、ホッパーからの脱気性向上が可能である。結果を、図3に示す。なお、テスト装置および成形条件は、表2での高温設定条件をベースにハングリーフィーダの有無で行った。

図3の結果より、以下のことが明らかとなった。

ハングリーフィーダ有無で色濃淡の平均値に明確な差がある。

色濃淡平均値が約22.4でモールドデポジットによる成形不良が発生すると仮定すると、ハングリーフィーダにより2.2倍の金型メンテナンス頻度の長寿命化効果が推定できる。

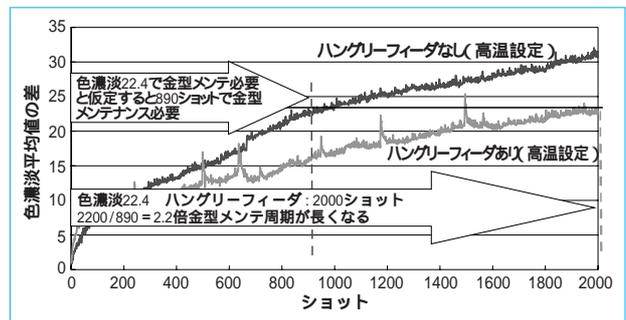


図3 ハングリーフィーダ評価結果  
Evaluation result in hungry feeder

## 6 むすび

モールドデポジットの堆積状態を色濃淡にて評価することで、毎ショット定量的に評価可能であることを明らかにした。

モールドデポジットの堆積状態・推移の可視化を行うことを可能とした。

本評価方法にてハングリーフィーダを評価したところ、2倍以上の金型メンテナンス頻度の長寿命化効果があることを明らかにした。

本評価方法を活用することで、モールドデポジット低減技術の向上および商品化に大きく貢献するものと期待する。

### (参考文献)

- 市川十四男. 「飽食成形」から「飢餓成形」へ. 発想の転換を提案する. プラスチックスエージ, vol.50, p130~134, June, 2004.
- 今野政昭, 丸本洋嗣. 真空材料供給による溶融樹脂の品質向上. プラスチック, 2001年10月号別冊.
- 杉山智, 数面博義. 低温可塑化スクリー スミメルトスクリー. 住友重機械技報, no.156, 2004.

# 高性能全電動射出成形機 SE・DUシリーズの開発

## Development of High Performance Full-electric Injection Molding Machine

四元 晃 史\*

Koji YOTSUMOTO



図1 高性能全電動射出成形機 SE75DU  
High performance full-electric injection molding machine SE75DU

当社は、2001年に全電動射出成形機SE-Dシリーズを開発した。この機械は、全ての駆動部分（射出、計量、型締およびエジェクタ）にDD（Direct Drive）機構を標準採用している。徹底的に低慣性化されたDD構造による高馬力・高応答を特徴とした射出装置と、長年実績のあるトグル技術をベースとして可動プラテンのセンター部のたわみを抑えるセンタープレスプラテン構造を採用しトグル式と直圧式の長所を併せ持つ。ハイサイクルと高剛性を特徴とした型締装置によって、サーボ弁制御のアクムレータ式油圧機以上の性能を全電動式射出成形機で実現している。

本報では、これらの性能を引き継ぎ、さらに新しいサーボ機構を搭載し高精度化するとともに、アプリケーションの充実をはかり高生産性を実現した、SE・DUシリーズの機能および特長について紹介する。

The full-electric SE-D series injection molding machine developed in 2001 was equipped, in its standard version, with direct drive mechanisms to drive all the units, such as injection, metering, mold clamping and ejection. The series proved to have superior performance to an accumulator type hydraulic injection molding machine, controlled by servo-valves. The application of a high-output and quick-response low-inertia direct drive mechanism injection unit and a quick-operating, high rigidity mold clamping unit was the key to achieving the performance. The mold clamping unit includes both toggle and direct pressure type features, thanks to the introduction of a center-press platen that minimizes distortion in the central area of a moving platen. The new SE-DU series was developed by providing a new servo mechanism for even more precise molding operations and by upgrading applications for high productivity, while maintaining the above features of the SE-D series. This paper reports on the performance and features of the SE-DU series, including a servo drive mechanism, clamping force feed-back control for center-press platens, mold protection, plasticization control, and N9 controller.

キーワード：射出成形機，全電動，センタープレスプラテン，型締力フィードバック

### 1 まえがき

プラスチック成形業界は、携帯電話、ノートパソコンおよびデジタルカメラなどのIT機器やデジタル家電製品などの急速な普及によって、各製品の差別化や生産性改善がはかられている。技術的には高生産性、低コスト化、精密化、薄肉化、小型化および複合化などをキーワードとして進化を続けている。これらの技術には樹脂、金型、成形機および加工技術の要素があり、それぞれの要素で各キーワードを実現するべく様々な商品が開発されている。

成形機では、高生産性・低コスト化を目的とするハイサイクル化、精密化を目的とする高応答性、薄肉化を目的とする高速射出性、小型化・複合化を目的とする専用機開発などが代表例である。また、ネットワーク対応や周辺機器組込みおよび各種支援機能が開発され、各キーワードの実現の一助をなしてきた。

当社においては、2001年に、ハイサイクル、応答性および高速射出を特徴としたSE-Dシリーズを市場投入し好評を得ている。今回、これらの性能を引き継ぐとともに、さらに構造・制御性を進化させ、より一層精密性および生産性を向

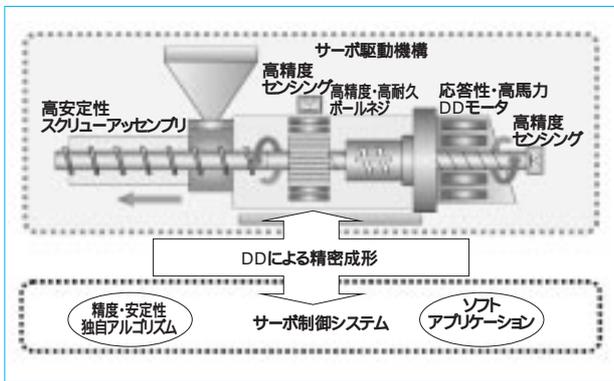


図2 サーボ駆動機構  
Servo drive mechanism

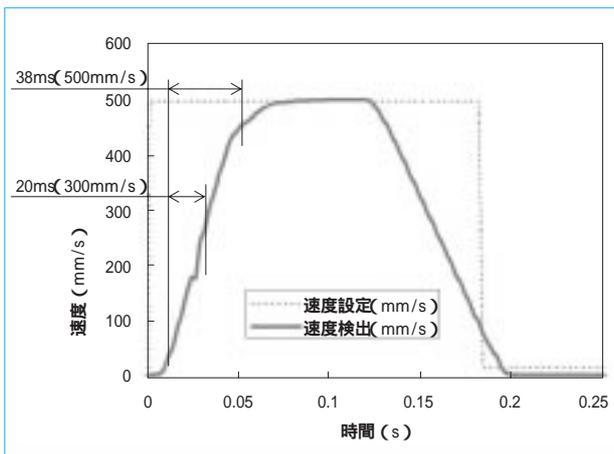


図3 射出速度波形  
Injection velocity wave form

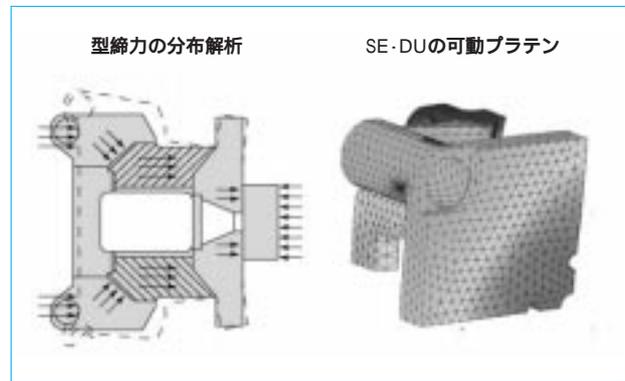


図4 センタープレスプラテン  
Center press platen

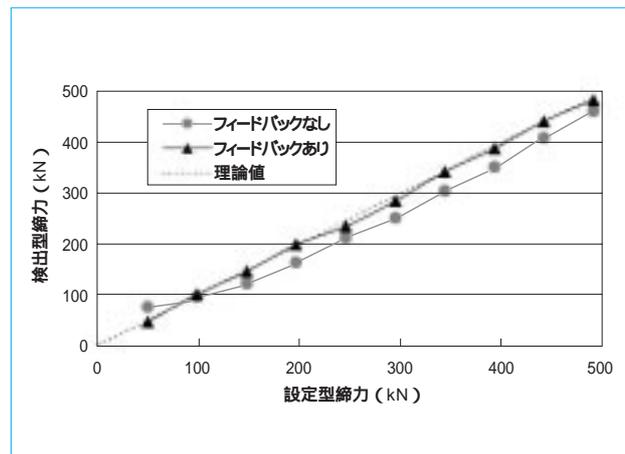


図5 型締力フィードバック制御  
Clamping force feedback control

上させたSE・DUシリーズ（型締力170～1760 kNまでの7機種）を、2005年10月に市場投入した（図1）。

## 2 SE・DUシリーズの特徴

SE・DUシリーズの特徴として、以下の六つがあげられる。

### 2.1 サーボ駆動機構

独自開発のサーボ駆動機構を標準装備した。極限までコンパクト化と軽量化をはかり、慣性力の低減を実現することで、油圧機以上の高馬力および高応答が特長となる機構となっている。

電動式射出成形機はベルトにより動力伝達を行う方式が一般的であるが、プーリなどの減速機構部も回転運動することから、モータの慣性負荷を増大させる。当社のDD（Direct Drive）機構と他社のベルトドライブ機構を比較すると、当社機構のメリットは以下の四つがあげられる。

慣性力の低減による応答性および制御性能を向上させている。

ベルトを介していないことから、ベルトの伸びおよび張力の影響を受けない、フルクロード制御である。

ベルト調整および交換などのメンテナンスが不要であり、粉塵および騒音がない。

機械効率を向上させている。

さらにDD機構のポテンシャルをフルに発揮させるべく、新

開発のサーボ制御と高精度センシング機構を採用し、高い次元での高精度および安定性を実現している。図2に、サーボ駆動システムを示す。特に射出性能については、小型の機種においては標準機で業界トップクラスの射出速度500 mm/sを出せる機種揃えをしている。さらに図3に示すように射出速度の立上りは30 ms台を確保し、薄物成形品や小物成形品においても容易に対応できるようになっている。また、1 mm/s以下の超低速域においても安定して射出動作を可能とすることができ、レンズ成形などの厚肉成形品などにおいても実力を発揮することができる。成形中の成形安定性の目安となる充填圧力のばらつきは、当社機比較で従来機の1/3程度まで抑えられることを確認した。

### 2.2 センタープレスプラテンと型締力フィードバック制御

SE・Dシリーズより採用していたセンタープレスプラテン（図4）は、可動プラテンのセンター部の剛性を高くすることにより、金型部に均一な型締力の分布が得られるようになっている。当社のようにワンクラス上の金型を搭載できる構造となっているワイドプラテンにおいては、大きな効果が得られ、バリ・ショートショットの防止および金型の長寿命化につながり、市場で好評を得ている。

この型締装置に、SE・DUシリーズでは型締力フィードバック制御を新たに搭載した。この機能はタイバーに型締力を検出するセンサを標準で装備しており、図5にその効果を示

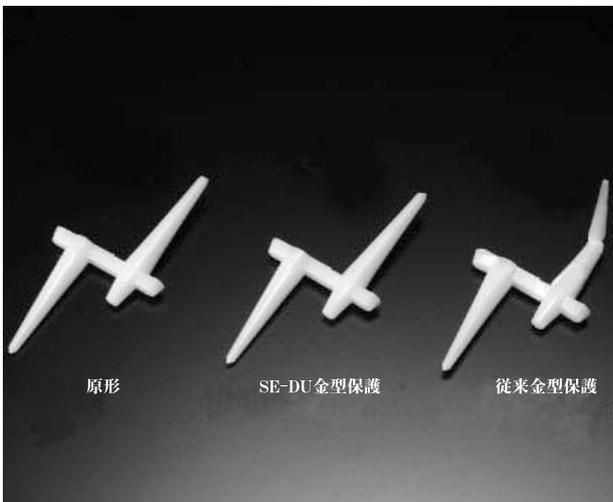


図6 金型保護  
Mold protection

す。このセンサにより成形中の型締力を常にモニタリングすることができ、設定した型締力により近くなるように検出した値を制御コントローラ側にフィードバックしている。これによるメリットは、以下があげられる。

金型の大きさが変わっても、過大な型締力を金型にかからずに済むようになり、金型の更なる長寿命化につながる。

金型に過大な型締力を掛ける必要がないことから、キャピティ内のガス抜け性が良くなり、成形安定性の向上につながる。

成形開始時と連続成形中に金型の温度が変化しても、金型の熱膨張の影響を受けないことから、安定した型締力を保持できる。

### 2.3 金型保護機能

成形中、金型内に異物（例えば、成形品、バリカスおよびランナ）を残した状態で連続成形を行った場合、最悪の場合、金型の破損にまで至る場合がある。成形現場においてそのような事態が起こると生産ラインの停止、金型の修理および生産計画の見直しなど、大問題にも発展しかねない。異物が挟まった状態を成形機側でいち早く検出し、成形機を自動的に停止させ、金型を保護するというものが金型保護である。型締駆動部の構造を改良するとともに、DD機構の特徴を生かして機械側の慣性をより低くした。新開発のサーボ制御と高精度センシング機構を搭載したことにより、従来機よりもさらに安定して異物を検出できるようになり、金型に優しい機能となった。従来機との金型保護機能を比較すると、同一型開閉速度であれば、成形品のつぶれ量は1/10以下（図6）、高速域においても従来では検出できなかった異常を検出できる。この機能を強化したことによって、成形オペレータはより一層安心して成形作業をできることとなる。

### 2.4 可塑化

成形業界においては、光学、容器および電子部品などの成形分野がある。射出成形機はこれら各分野の多種多様な樹脂や成形技術に対応していかななくてはならないが、幅広い樹脂や成形技術に対応できる汎用スクリーンアセンブリや標準

装備品だけでは全ての成形分野に対応することができない。例えば、光学分野のレンズ成形における成形品の要求品質はIT技術の進歩により急速に高まってきており、コンタミレーションの要求品質もミクロンオーダー、あるいはコンタミレーションレスとまで言われている。当社の場合は、40年培った経験と実績により、これに対応するべく、

計量時に樹脂焼けを起こしにくい専用スクリーンアセンブリの品揃え、

成形開始時のヒータ昇温時に一番早く昇温が完了するノズル部の昇温開始時期をずらし、他のヒータ昇温完了と時期を合わせることによるノズル内部の樹脂焼けを防止する機能、

さらに樹脂を安定計量させるべく加熱シリンダ温度の各ゾーンの制御出力値を画面に表示させる機能

などの多彩なアプリケーションを揃えている。

SE・DUシリーズでは、従来機においてオプション装備となっていたアプリケーションを標準装備にすることにより、さまざまな成形分野でより一層安定して成形できるものとした。可塑化の高精度温度制御の一環として、ヒータステップ昇温および加熱シリンダ温度制御5ゾーン（22スクリーン以上）、水冷シリンダ温度制御およびヒータ断線監視装置を標準装備した。樹脂を溶かし計量する可塑化動作を安定して制御させるようにして不良率の低減など行うことができ、歩留まり解消に至ることができる。また、安定成形の一環としてアプリケーションの充実をはかり、電子部品分野のコネクタ成形において専用樹脂に対応するべく、計量動作を安定化させる目的で計量ストロークを分割して計量させるシンクロ計量を標準装備した。成形技術と制御技術が融合した成形アプリケーション機能が効果を発揮し、可塑化を安定させることによって成形品のばらつきを低減することができ、生産性を一層向上させる。

### 2.5 コントローラ

SE・DUシリーズでは、当社開発による最先端の技術を取り入れた射出成形機専用の「N9コントローラ」を採用している。12.1インチ大型カラー液晶やタッチパネルLCDを採用し操作性および視認性を高めるとともに、成形現場での問題解決に有用な品質管理データの統計解析機能や8ch波形表示機能など多彩なアプリケーションを標準装備している。

N9コントローラは、USBインターフェース・パソコン接続回路を標準装備しており、成形現場においてUSBメモリの使用により、成形条件・連続成形時のさまざまな情報を含んだロギングデータおよび波形表示画面などを瞬時に保存できる。また、接続したパソコンにより、成形機コントローラのほとんどのデータ（実績値・設定値）の読出しと設定値の変更が可能となった（図7）。これにより、パソコン側のソフトウェアの作り方によって自由にデータの収集やリモートコントロールができることになり、成形条件の読出し・変更・記憶およびショット数を監視してカウントアップしたときの実績値を読み出すことより、データロギングが実現できる。さらに従来機において成形条件の保存は、成形機の内部メモリおよび専用カードと限られ成形条件の保存数にも制限があったが、パソコン側の記憶メディアで大量の成形条件を記憶・管理できるようになった。ネットワーク（LAN）対応として、

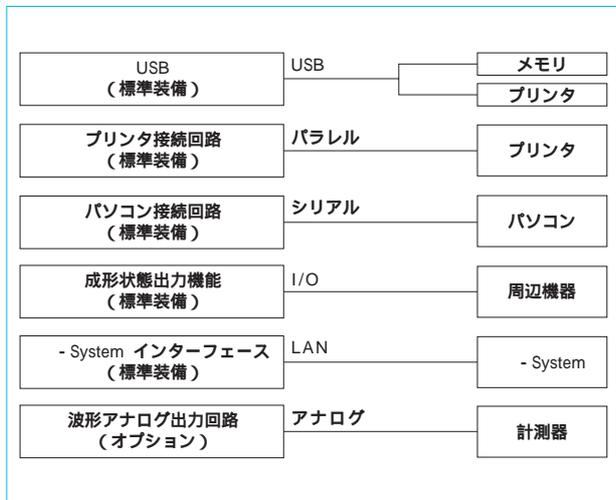


図7 システムインターフェース System interface

特別付属品の監視システム「iii-System」を搭載することにより、成形現場の成形品質や生産状況を遠隔地で確認・管理することができるようになり、成形現場でなにが起こっているかタイムリーにつかむことが可能になった。

### 2.6 生産性・成形現場を助ける標準装備品

従来機ではオプション装備品だったハード・ソフトウェアが、SE・DUから標準装備化された。その中の特徴的なものをあげてみる。

#### 型厚リモート装置

これは金型交換の時間を短縮する装置で、段取り時に設定された型厚までワンタッチで型の厚さを移動できる装置である。エンコーダ方式で型厚の移動量を見ていることから、設定位置まで精密に型を移動することができる。多品種・少量生産のように金型の交換が多い場合には非常に有効であり、段取り作業時間の大幅な短縮が見込まれる。

#### マルチトグル

通常の成形だと型締完了後に充填が開始されるが、型締力が低い状態で充填を開始し充填中に高圧に切り換えることができる。また、必要に応じて冷却中に型締力を抜くことができる。型締力が低圧の状態での充填を開始するので、サイクル短縮をすることができ生産性が向上し、またガス抜けも向上するので充填性にも効果を発揮する。

#### SK制御ソフト

計量完了後および充填遅延中に逆流防止装置を閉鎖し、樹脂の充填量を安定させる動作で、このソフトウェアが標準で搭載されている。特別付属品になる「SK3点セット」を搭載し、上記動作をさせることで成形品の重量のばらつき、充填中のピーク圧のばらつきを抑えることができ、安定して良品を取ることができる。さらに、計量中の樹脂密度変化が発生しても自動補正機能で樹脂密度を一定にすることができ、金型に充填される樹脂量の安定化をはかる。粉碎材の使用など計量後の樹脂密度が安定し難い場合に、特に効果が出せる。

#### 省エネ加熱シリンダカバー

この加熱シリンダカバーは2層構造となっており、外部の温度変化の影響から、加熱シリンダの温度を一定温度に保つとともに、加熱シリンダに取り付けてあるヒータの熱を外部へ逃がしにくい構造となっている。このカバーを取り付けていることにより、消費電力削減にも大きく貢献することができる。

## 3 むすび

SE・DUシリーズの特長を次に示す。

DD機構に新開発のサーボ制御と高精度センシング機構を採用し、高い次元での高精度・安定性を実現している。

SE・DUシリーズは、型締装置7種類、射出装置9種類および多彩なスクリーアセンブリの内から選択することができるワイドバリエーションである。従来機で特別付属品であったものを標準装備品にすることによって、生産性を向上させるとともにオペレーションを支えることができ、魅力ある機械となっている。

SE・DUをベースマシンとして、各種専用機もラインナップされており、市場の細かな要求に大きくこたえることができる射出成形機である。

日本産業機械工業規格安全通則に対応しており、安全性と信頼性を確保している。

#### (参考文献)

- 大西祐史. 全電動射出成形機SE・Dシリーズ. 住友重機械技報, no.150, Dec., 2002.
- 広住均. 成形現場向け品質管理システム「iii-System」. 住友重機械技報, no.149, Aug., 2002.

# 全電動中型射出成形機 SE・HD/HSシリーズの開発

## Development of Medium-size Full-electric Injection Molding Machine

小林 彰久\*

Akihisa KOBAYASHI



図1 全電動中型射出成形機 SE220HS  
Medium-size full-electric injection molding machine SE220HS

当社は1998年以降にSE・Sシリーズを上市したが、薄肉ハイサイクル成形業界を主なターゲットとしていたことから、市場を大きく占める自動車業界のニーズにマッチした成形機になっていなかった。このため、2005年にSE・HDシリーズおよびSE・HSシリーズを上市した。SE・HDシリーズが自動車業界向け、SE・HSシリーズが薄肉ハイサイクル成形業界向けに開発され、それぞれ業界にマッチした成形機となっている。

また、これらの成形機には、ダブルセンタープレスプラテンや高精度、高出力ノズルタッチなど新機構を多く盛り込まれており、それぞれ高い評価を得ている。

本報では、二つのシリーズの基本的な機能および特長について紹介する。

Our company put the SE-S series on the market in 1998. It was primarily designed to manufacture thin-wall molded items via a rapid cycle of injection molding and was hence unfavorable for the production of thick-wall molded items mainly used for automobiles. In 2005, the newly developed SE-HD and SE-HS series were put on the market. The SE-HD series was developed for producing molded automobile parts and the SE-HS series for producing thin-wall molded products respectively. Both the series have incorporated new developments, such as a double center-press platen mechanism, a feedback control mechanism including clamping force, and a high-precision, high-output nozzle touch mechanism. These features have been well accepted by users. This report presents the basic functions and features of the SE-HD and SE-HS series.

キーワード：射出成形機，全電動，ダブルセンタープレスプラテン，型締力フィードバック

### 1 まえがき

2001年末に上市した型締力2000 kN以下の小型全電動射出成形機SE・Dシリーズは、「従来のアキュムレータ付き油圧成形機並みのパワー」と「精密安定成形性」において、市場から高い評価を得ている。

一方、型締力2000 kN以上の中型電動成形機市場では、当社は1998年以降にSE・Sシリーズ（2250～5390 kN）を上市しているが、ハイサイクル成形品（薄肉容器など）を主なターゲットにしていたことから、市場を大きく占める自動車部品などの厚肉成形品（射出速度は低い、高負荷対応が必要）

には必ずしも成形機の性能がマッチしていなかった。

このような状況下で中型機では、薄肉ハイサイクル成形業界や自動車部品業界などのニーズにマッチした成形機を開発する必要があったので、2シリーズを2005年の5月に上市した。それが本報で紹介するSE・HDシリーズ（2150～4410 kN）およびSE・HSシリーズ（2150～3430 kN）である（図1）。

これらは、SE・Dでのコンセプトを取り入れながら、ダブルセンタープレスプラテンや高精度・高出力ノズルタッチなどの新機構を採用している。以下に、これらについて説明する。

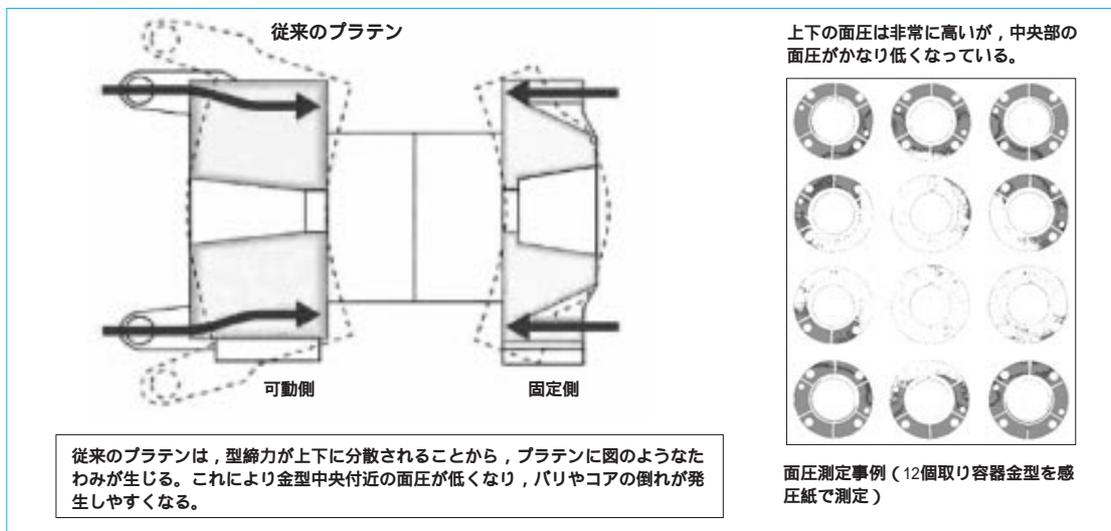


図2 金型PL面の面圧と型締力の伝達（従来機）  
Surface pressure on mold and transmission of mold clamping force (Conventional type)

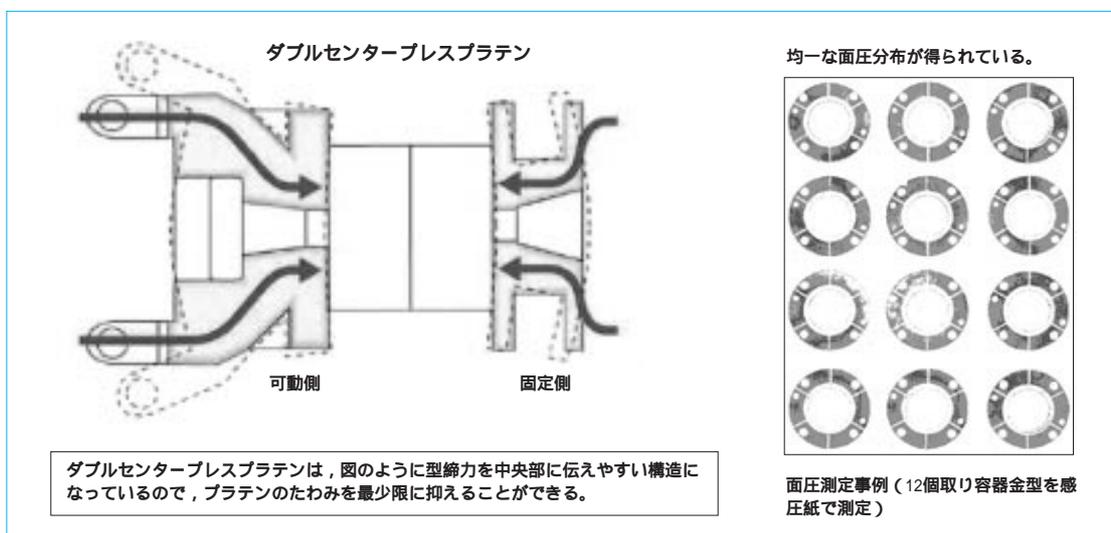


図3 金型PL面の面圧と型締力の伝達（センタープレスプラテン）  
Surface pressure on mold and transmission of mold clamping force (Center press platen)

## 2 SE・HDおよびSE・HSシリーズの特長

前章で述べたように、今回の中型機はSE・HDシリーズとSE・HSシリーズの2シリーズの開発を行い、上市した。SE・HDは、自動車部品業界に代表される厚肉成形品向けに長時間保圧や高負荷計量を実現しており、一方、SE・HSは薄肉ハイサイクル成形品向けに高速、高応答射出を実現している。

シリーズ展開に当たって「モジュールやパーツの共通化」を徹底して行い、できるだけ少ない要素で豊富なバリエーション化を達成することができた。二つのシリーズで共通する大きな特長を次に示す。

- ダブルセンタープレスプラテン
- 型締力フィードバック制御
- 高精度・高出力ノズルタッチ
- ワイドサイズプラテン
- フレームの低振動

などがあげられる。

さらにHDシリーズでは、

射出、計量の高負荷モータ

HSシリーズでは、

高速・高応答射出モータ

高混練・低温可塑化スクリー（SMスクリー）

高速型開閉

高射出馬力

DD（Direct Drive）射出機構

など、ニーズにマッチした機能が装備されている。

以下に、主な特長について説明する。

### 2.1 ダブルセンタープレスプラテン

型締力2000 kN以下の小型全電動射出成形機SE・Dシリーズの可動プラテンに採用され、型締装置の剛性において高い評価を受けていたセンタープレスプラテンを、極限までに進化させたのが「ダブルセンタープレスプラテン」である。これは可動プラテンだけでなく、固定プラテン側にもセンタープレスプラテンを採用したもので、その効果をダブルに高めている。

図2と図3は12個取りの容器金型のパーティングライン

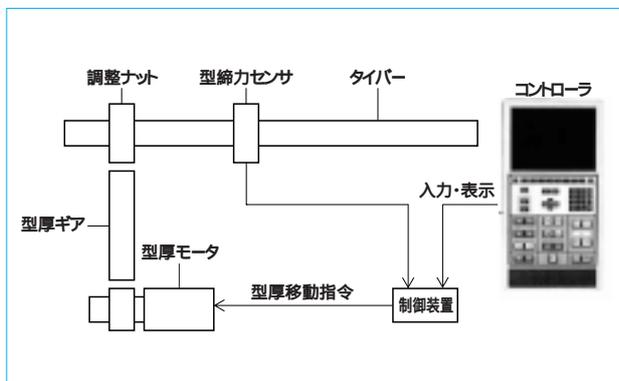


図4 型締力フィードバック制御の構成  
Composition of mold clamping force feedback control

(Parting Line PL) 面(製品を取り出す合わせ面)に感圧紙を挟んで型締昇圧させて測定した結果であるが、面圧が高いほど濃い色になり、逆に低いほど淡い色になる。この場合、面圧のバランスがよいほど、型締装置の剛性は高いことを意味している。

図2に示す従来機では、金型上下やタイバー周辺の面圧が高くなっているが、逆に中央周辺部では低くなっていることから、面圧のバランスが悪くなっている。このような面圧分布の状態で行うと、成形条件が厳しい場合には成形品のバリやショートだけでなく、タイバー周辺部などの面圧が高い箇所でもガス抜けが悪くなり、焼けなどの成形不良を発生させる可能性が高くなる。

これに対し、HD/HSシリーズに搭載されているダブルセンタープレスプラテンでは、図3に示すように型締力は中央部に伝達しやすい構造になっている。これによりプラテンのたわみを最少限に抑えることが可能になり、PL面の面圧の均一性を大幅に改善することが可能になった。

ダブルセンタープレスプラテンは、従来機の高剛性プラテンよりもたわみが少なくなっていることから、図3に示すように金型中央部でも十分な面圧を得ることができる。その結果、型締力は従来比で約20%以上低減させて成形することが可能になった。(中央部周辺の面圧が高くなり、上下の面圧が低くなっていることが確認できる)

またガス抜け性も改善されているので、金型メンテナンス周期改善などが期待される。

このようにダブルセンタープレスプラテンはトグル機構でありながら、直圧機並みの面圧分布の均一性を実現させている。

## 2.2 型締力フィードバック制御

当社では、型締装置の昇圧機構としてトグル機構を採用しており、高い信頼性を評価されている。

トグル機構では、金型をプラテンで押しつけてタイバーを伸ばすことで型締力を発生させているが、型締力の設定と実績に若干の差が生じる場合がある。

この原因として、

金型の剛性、厚さおよび大きさ

温調による金型の熱膨張

などが影響している。

また成形時では金型温調による金型の熱膨張が発生するこ

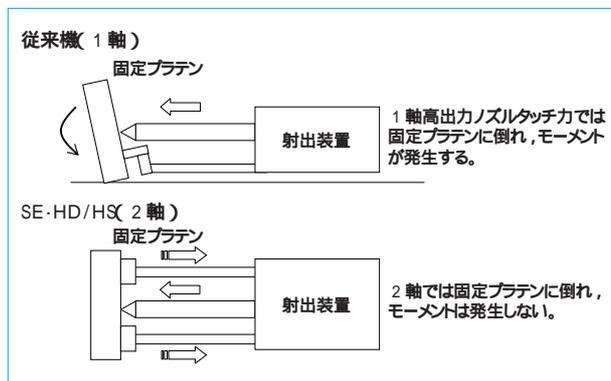


図5 ノズルタッチ機構  
Mechanism of nozzle touch

とから、現状のトグル機構では型厚再調整を行わないと、型締力が最大で約20%増加してしまう場合があった。型締力が増加していくと、成品重量が変化していったり、結果的に必要以上の型締力を与えてしまうことで、金型PL面の摩耗や機械の耐久性が低下するなどの問題を発生させる可能性があった。

このような問題が次第に明らかになってきていたので、市場では型締力をより「正確」にかつ「安定」してコントロールすることが求められてきた。

このようなニーズにこたえて、HD/HSシリーズでは型締力センサを標準でタイバーに追加し、タイバーの伸びを測定することで、実際の型締力の表示と型締力のフィードバック制御を実現させた。

型締力補正制御の構成(図4)は、次の構成から成り立っている。

型締力センサ

制御装置型厚モータ

調整ナットおよび型厚ギア

この機能により、型締力の設定と実績に差が生じていれば、自動的に型締力が補正(型締力フィードバック)されるので、常に安定した型締力を維持することが可能になった。このことから、成形条件や時間経過による製品重量のばらつきを極めて小さい範囲で抑えることができると期待される。

## 2.3 高精度・高出力ノズルタッチ

図5に示すように、従来機では射出装置のノズルタッチは1本のアーム軸(1軸)で固定プラテン側から引っ張って行っている。

しかしノズルタッチ力が高出力になると、現状の1軸では固定プラテンに対し倒れモーメントが大きく発生し、固定プラテンに倒れが発生する。この結果、プラテン間の平行度の精度は悪くなってしまい、ガイドピンなどのかじりなどの問題が発生する可能性があった。

そのことから、HD/HSシリーズではプラテンの倒れが発生しない高精度で高出力なノズルタッチ機構を求めるニーズに対応して、高精度と出力アップ(従来機:25kN, HD/HS機:59kN)を両立させた新2軸ノズルタッチ機構を開発し、それを標準装備した(図5)。

この機構ではノズルと対称に配置された2軸アームにより構成されており、固定プラテンには倒れモーメントが発生

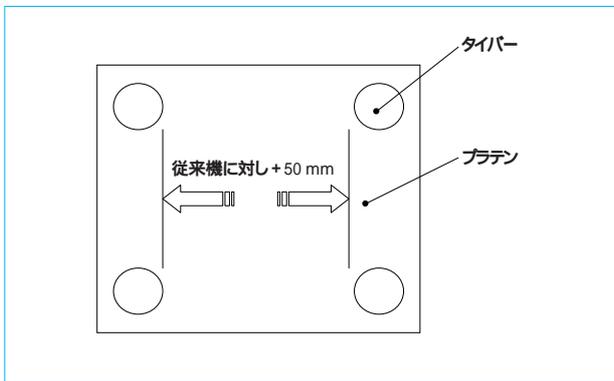


図6 ワイドサイズプラテン  
Wide size platen

しないことから、プラテン間の平行度を高精度に維持することができる。

またノズルタッチの昇圧、脱圧時間は0.3秒以下で、可塑性移動速度も従来機の2倍以上を実現していることから、可塑性後退成形の場合でも、サイクルロスを最小限に抑えることが可能になっている。従来機と比較してコストパフォーマンス的にも優れている。

#### 2.4 ワイドサイズプラテン

HD/HSシリーズでは図6に示すようにタイバー間隔を横方向に約50 mm拡張し、従来機よりも大きな金型が搭載できるようになった。また金型設計の自由度が増し、金型交換などの段取り作業も容易になっている。

ワイドサイズプラテンにより従来機よりも大きな金型を搭載し、ダブルセンタープレスプラテンにより必要最低限の型締力で、型締力フィードバック制御によりその型締力を正確にかつ安定してコントロールしている。高出力ノズルタッチ機能によってプラテンの倒れを防止することで、文字通り「金型に優しい機械」と呼ばれるに相応しい機能を装備している。

#### 2.5 高負荷モータ (HDシリーズ)

自動車部品業界の厚肉成形品では、計量回転時のモータ負荷が高いものや、保圧時間が長くて射出モータ負荷が大きい場合が多くある。従来機では、業界にマッチしていなかったため、これらの成形品に十分に対応することができていなかった。

今回、開発したHDシリーズでは、想定される射出および計量モータの負荷を見直して大幅なモータ容量アップを行った。この結果、保圧および計量工程でのモータ負荷は従来比で約2～3倍の長時間負荷が可能となった。

#### 2.6 高速・高応答射出モータ (HSシリーズ)

薄肉ハイサイクル業界では、SGシリーズおよびSGMシリーズなどによって十分な実績を誇っているが、HSシリーズでは、SE・Dシリーズで実績のある第2世代DD機構を射出装置に搭載することで、その代替が期待されている。

図7に示す構造により、低慣性と高応答射出を実現しているので、瞬時の高速高圧をコントロールが可能になり、精密ハイサイクル分野への対応も可能になった。

射出特性は射出速度300 mm/sが標準で、電動ベルトドライブ機構に比べて、約2.5倍の応答性向上を実現している。

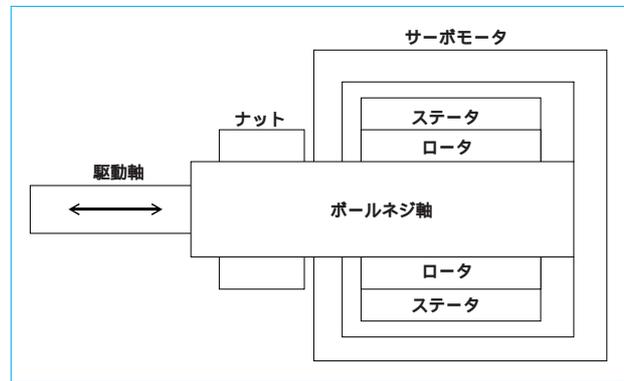


図7 第2世代DD機構  
Second generation DD mechanism

これは、アキュムレータを搭載したサーボバルブ機と同程度の射出速度の応答性を実現していることになる。

また射出装置のC1250およびC1700では2軸のDD機構を採用しているので、コンパクトな構造ながらハイレスポンスを実現している。

#### 2.7 高混練・低温可塑性スクリュー (SMスクリュー)

HSシリーズでは、従来のSFスクリュー形状を見直し、高混練・低可塑性を実現したSMスクリューを標準装備している。

SMスクリューの特長として、以下があげられる。

樹脂に無理なせん断をかけないスクリュー形状

低温で効率よく樹脂を熔融するサブフライト

熔融樹脂の混練を促進するミキシング

これらにより、従来のスクリューと比較して樹脂温度は約5%低減、混練度は約10%向上、可塑性能力は約10%向上した。この優れた低温可塑性性能により、焼けと混練の不良低減および成形サイクル短縮化が期待される。

### 3 むすび

SE・HD、SE・HSシリーズは、自動車部品業界の厚肉成形品や薄肉ハイサイクル成形品などのニーズにマッチした成形機として開発された。

両シリーズには、ダブルセンタープレスプラテン、型締力フィードバック制御および高精度・高出力ノズルタッチといった金型に優しい機能を追加した革新的な機械となった。

今後、顧客の要望も高度化、多様化していくものと思われるが、市場の評価を再確認してその結果をフィードバックし、次期開発機に反映させていきたい。

(参考文献)

大西祐史. 全電動射出成形機. SE・Dシリーズ. 住友重機械技報. no. 150, Dec., 2002.

西尾興人. 中型全電動射出成形機. 産業機械特集「プラスチック機械」, no.666, Mar., 2006.

# ハイブリッド射出成形機 PET4000HYの開発

## Development of Hybrid Injection Molding Machine

坂本 一郎\*  
Ichiro SAKAMOTO



図1 ハイブリッド射出成形機 PET4000HY  
Hybrid injection molding machine PET4000HY

1996年発売のペットボトルプリフォーム用射出成形機PET4000の後継機として、2004年にPET4000HYを発売した。PET4000HYはハイブリッド成形機SE350HYをプラットフォームとし、ペットボトルプリフォーム成形専用機として開発された。ペットボトルプリフォーム成形に必要な機能を達成すべく、電動と油圧を融合した成形機である。

型開閉およびスクリー回転を電動駆動とし、省エネルギー化を実現した。また、ペットボトルプリフォーム成形用として特に高負荷が必要とされるエジェクタおよび射出を油圧駆動とした。ペットボトルプリフォームの要求品質に対応すべく、PET樹脂専用のSM（スミメルト）スクリーを搭載している。

The injection molding machine exclusively for PET bottle preform production, PET4000HY, has been marketed since 2004 as the successor to the previous model PET4000, introduced into the market in 1996. The model PET4000HY, developed based on the hybrid injection molding machine SE350HY, utilizes components driven by electric or hydraulic power in order to provide the functions required for PET bottle preform molding. The electrically driven devices are adopted for mold opening and closing to reduce the time taken to extract molded preforms, and for screw plasticizing which helps reduce power consumption. The injection and ejection devices are driven by hydraulic power, since they need a high output. To meet the quality requirements for PET bottle performing, a SM screw is employed, which is exclusively designed for the purpose.

キーワード：ペットボトルプリフォーム，射出成形機，ハイブリッド

### 1 まえがき

ペットボトルは1996年に1L未満の小容量ボトルの自主規制が解除されてから、透明性およびネジ付きキャップのリシールの利便性などにより、急激に伸びてきた。（2005年日本国内需要 53万t）当社においては、1992年よりペットボトルプリフォームの成形システムにたずさわってきた。

PET4000HYは、ペットボトルプリフォーム成形に必要な機能を装備した専用機である。PET4000HYの特長とペットボトルプリフォーム成形の必要項目およびその達成方法について述べる（図1）。

### 2 ペットボトルの生産工程概要

ペットボトルの生産方法は大きく分けて、1段法と2段法の二つの方法がある（図2）。

1段法ではプリフォームという試験管状の成形品を射出成形した後に、射出成形時の保有熱を利用し、ブロー成形で膨らますことによりペットボトルを生産する方法である。この場合、プリフォーム成形とブロー成形は一つの機械で行われる。

2段法では、プリフォームを射出成形した後にいったん温度を冷まし、ブロー成形機でブローに適した温度分布に再

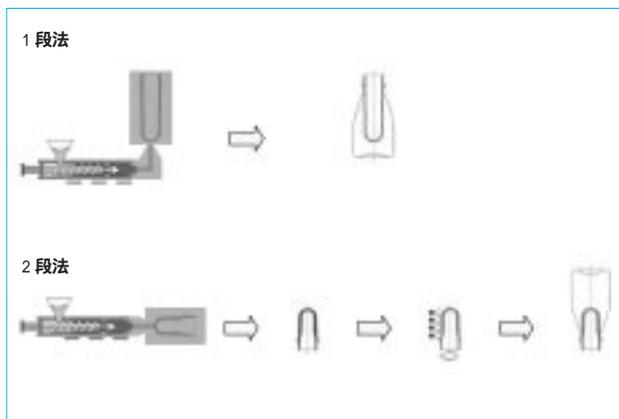


図2 ペットボトル生産方法  
Production of Pet-bottle

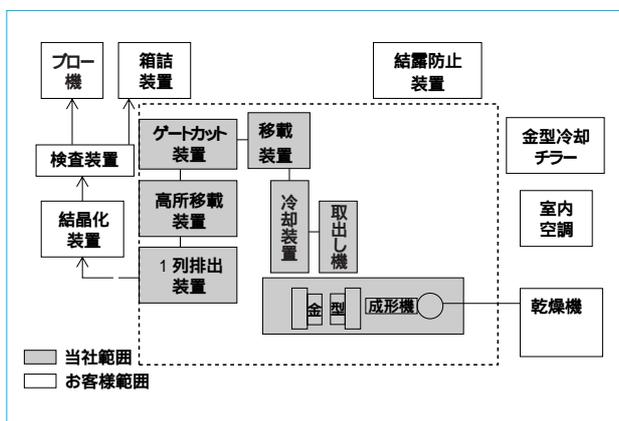


図3 ペットボトルプリフォーム生産工程  
Process of Pet-bottle-preform production

加熱し、ブロー成形で膨らますことによりペットボトルを生産する方法である。この場合、プリフォーム用射出成形機とブロー成形機はそれぞれ独立して設置される。

1 段法は比較的少量生産に適し、2 段法は大量生産かつ高品質のボトルの生産に適する。

### 3 ペットボトルプリフォーム生産システム

当社は、2 段法のプリフォーム生産用の射出成形機、金型および周辺機器を提供する。

2 段法のペットボトルプリフォーム成形工程は図3に示すように、乾燥機にて乾燥および140 ~ 160 程度に加熱された樹脂ペレットが射出成形機に投入され、樹脂ペレットはスクリー回転時のせん断力とヒータの熱により280 から300 程度の溶融樹脂に加工される。

溶融樹脂は、チラー水にて15 以下程度に冷却された金型内に射出され、圧力を掛けられ、急速に冷却されプリフォームを形成する。取出しに最低限必要な温度に冷却された後で、射出成形機に装備されたエジェクタによりプリフォームは突き出され、取出し機へと受け渡される。取出し機に受け渡されたプリフォームは、その後の工程に必要とされる温度まで冷却され、その用途により、

ゲート（溶融樹脂をプリフォームに流す注ぎ口）のカッティング、

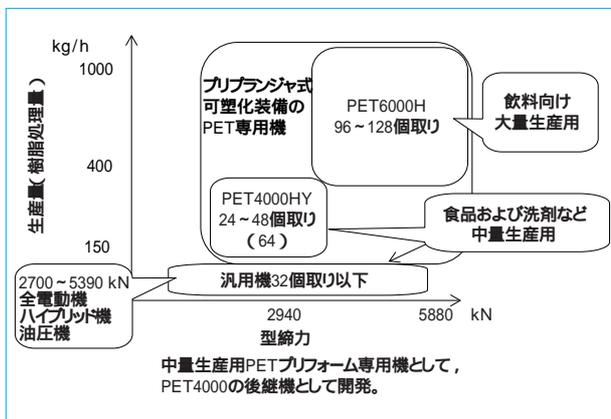


図4 PET4000HY位置付け  
Position of PET4000HY

表1 主要装置の駆動方式  
Drive types of main devices

工程	電動サーボ駆動	油圧駆動
型開閉		
エジェクタ		
射出		
保圧		
可塑化（スクリー回転）		
背圧		
射出装置の移動		

受け渡されたプリフォームの高所への移動、  
一列のラインへの整理、  
検査装置による検査

などを経て、次工程（箱詰め、ブローライン）へと接続される。

当社では、主に成形機から一列排出までのラインを取り扱っている。

### 4 PET4000HYの特長

PET4000HYは当社のハイブリッド成形機SE350HYをプラットフォームとし、ペットボトルプリフォーム成形専用機として開発された。その位置付けは、図4に示すように製品取り数24~64個取りの製品を主に取り扱う。

主仕様を以下に記す。

型締方式	ダブルトルグ式
最大型締力	2940 kN
タイバー間隔(横×縦)	730×730 mm
最大型厚	670 mm
最大射出容量	3801 cm <sup>3</sup>
最大可塑化能力	380 kg/h
機械寸法	8.9 (W) × 2.0 (D) × 2.6 (H) m

主要アクチュエータの駆動方式を、表1に示す。

ペットボトルプリフォーム成形専用機としての最適化をはかるべく、電動駆動と油圧駆動の特長を融合した。

ペットボトルプリフォーム成形専用機として、以下を装備している。

高出力油圧エジェクタ  
プリプラ式高可塑化能力スクリーアッセンブリー

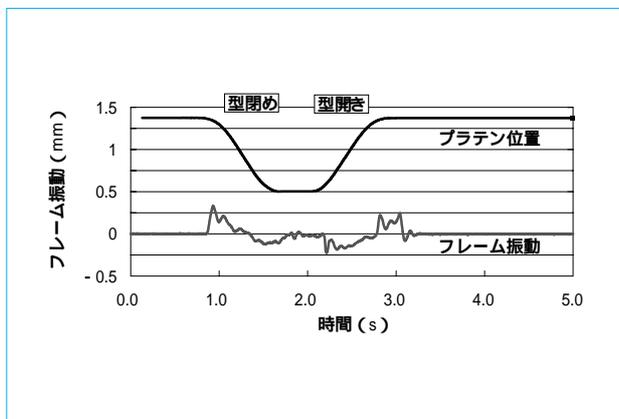


図5 フレーム振幅  
Frame movement

- PET樹脂専用SM (スミメルト) スクリュー
- 大容量金型冷却水用配管
- 金型ホットランナ, ホットチップコントローラ
- 金型空圧バルブゲート用駆動回路
- タイバー抜き装置 (金型交換用)

### 5 生産システムの必要項目と達成方法

ペットボトル生産システムの特長としての必要項目と、その達成方法について述べる。

#### 5.1 システムの高生産性

プリランジャ式の可塑化装置を有するペットプリフォーム成形において、成形サイクルは以下 ~ の各合計時間が最も長い組み合わせによって決定される。通常は、の合計時間にて成形サイクルを決めるべく、およびの時間をより短くなるよう調整する。

充填時間 + 保圧時間 + 冷却時間 + 製品取出し時間  
(製品取出し時間とは、「型開開始からエジェクタによる突出し時間と取出し機によるIN OUT時間を含めて型締完了まで」の時間)

スクリュー回転時間 (必要な樹脂を溶融するに必要な時間。インライン成形の計量時間に相当する)

充填時間 + 保圧時間 + プランジャへの計量時間 + ロータリバルブ開時間

充填、保圧および冷却時間はペットボトルプリフォームの肉厚に依存する割合が高く、金型の冷却構造および材質などの影響を受けるが、低温可塑化による金型への充填樹脂温度の低下も成形サイクル短縮に寄与する。

製品取出し時間の短縮を目的に、PET専用成形機は電動式の型締機構を採用している。本機構により、高速型開閉かつ型開閉のストロークエンドでの低振動化を実現した。図5に、事例を示す

ペットボトルプリフォームはその試験管状の形状つまり型開方向に製品が長いことより、金型投影面積に対し1ショットの製品体積が大きくなる。そのことから、大容量射出装置が必要となる。さらに大容量射出でかつ成形サイクル短縮を実現するべく、大きな可塑化能力が必要となる。

大きな可塑化能力を得るべく、スクリューによる樹脂溶融部と金型に射出するプランジャ部を個別に装備するプリブラ

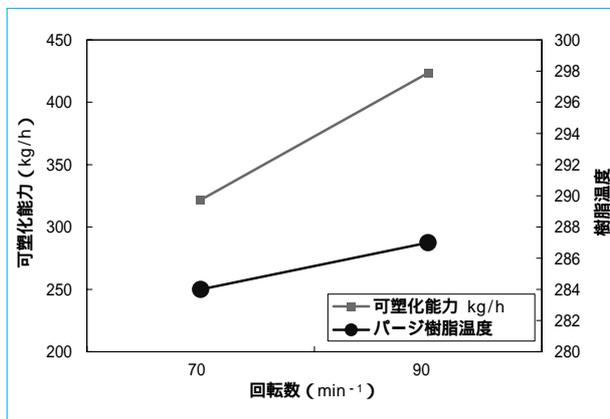


図6 SMスクリーテスト事例  
Result of SM screw

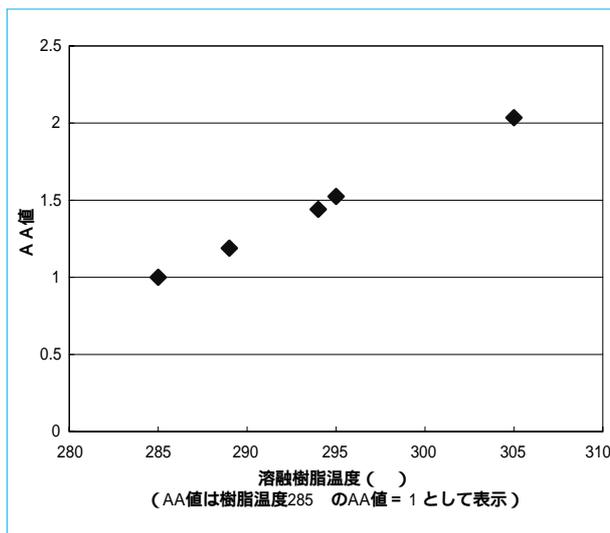


図7 樹脂温度とAA値の関係  
AA-value relative to melting resin temperature

ンジャ式の可塑化装置を採用している。スクリューはプランジャ射出、保圧工程中も可塑化可能なように回転のみでなく前後進可能な機構を持つ。さらに標準インラインのスクリューに対し、L/D (スクリュー長さ/スクリュー径) の長いPET樹脂専用のスクリューを搭載している。

#### 5.2 高品質プリフォームへの対応

PET樹脂専用スクリューに要求される主な項目として、高可塑化能力 (ハイサイクルおよび多数個取り対応)、高混練性 (外観不良対応) および低温可塑化 (AA: アセトアルデヒド値低減) がある。

通常、高可塑化能力と高混練性および低温可塑化は相反する性能である。この3者を両立させるべく、PET樹脂専用SMスクリーは必要以上にせん断発熱をさせず、かつ十分な混練性能を持たすようにそのスクリュー形状に特徴を持っている。本スクリーでのテスト結果を、図6に示す。

高可塑化能力の条件下で、低温可塑化が実現されているのが分かる。低温可塑を実現することで、AA値の低減に貢献できる (図7)。

#### 5.3 ペットボトルプリフォーム成形用金型対応

プリフォームは通常肉厚が数mmあることから、金型内に

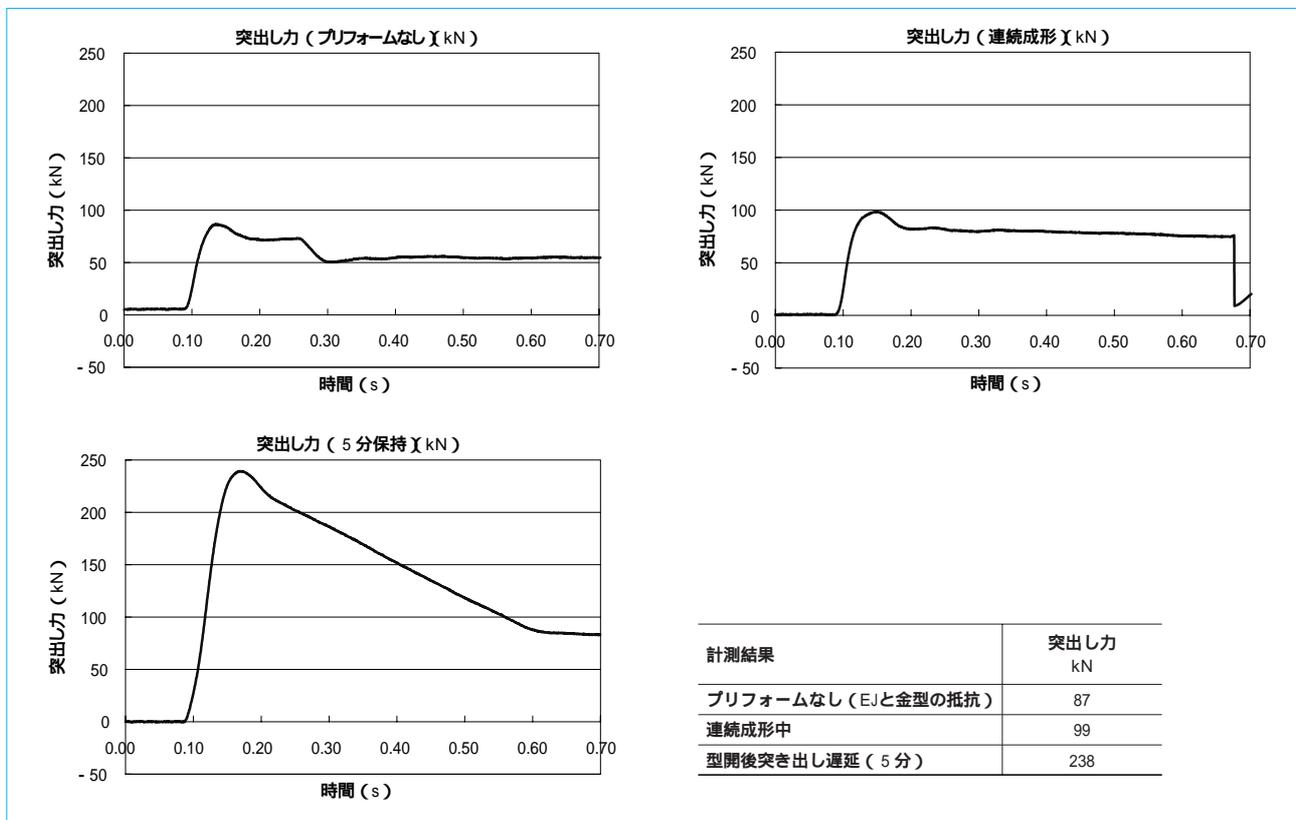


図8 プリフォーム必要突出し力  
Necessary force to eject preform

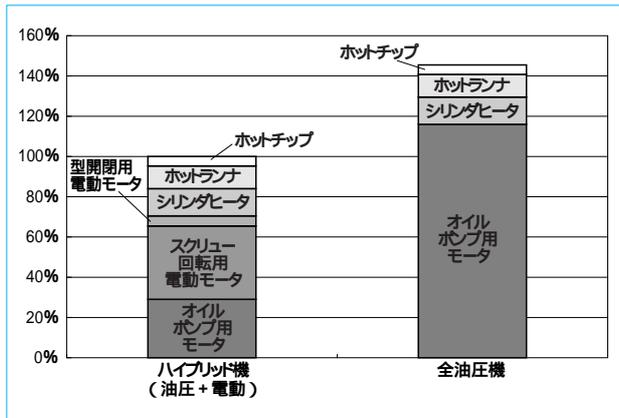


図9 成形機消費電力内訳  
Details of consume electric power

入れたまま数分間冷却し続けると、プリフォームの収縮により通常成形時の10倍以上の突出し力が必要となることがある。図8に、事例を示す。高い突出し力が必要とされる最初のストロークのみ高出力を出し、高い突出し力が不要のストロークでは低出力、高速の挙動を示すような機構の高出力油圧エジェクタを採用している。

ペットボトルプリフォーム成形用金型は通常ホットランナによる多数個取りであり、金型製品部はチラーにより15以下程度に冷却される。本金型対応として、成形機にホットランナおよびホットチップ用のコントローラを内蔵し、ホットランナバルブゲート駆動用のエア回路および金型冷却用の冷却水配管を装備している。(一部オプション) また、天井

の低い工場での金型交換に対応し、操作側のタイバーを金型交換時に抜くことのできるオプションを準備している。

#### 5.4 省エネルギー対応

ペットボトルプリフォーム成形における成形機の消費電力内訳を、図9に示す。プリランジャ式可塑化装置を使用の場合、スクリー溶融のスクリー回転に必要な割合が高い。当社で採用している電動式スクリー回転駆動を採用すると、試算では全油圧式射出成形機に比べ、消費電力が約3割削減される。

## 6 むすび

電動&油圧のハイブリッド式PET4000HY射出成形機を紹介した。

電動駆動の特長を生かし、省エネルギー、高速型開閉かつ低振動を実現し、油圧駆動の特長を生かし、高出力油圧エジェクタとランジャ式大容量射出装置を実現した。

PET専用SMスクリーにより、高可塑化能力、高混練および低温可塑化を実現した。

今後も市場の要求品質に応えるべく、性能向上に取り組んでいきたい。

(参考文献)

PETボトルリサイクル推進協議会. 統計データ用途別需要推移/分別収集の進捗状況. Mar., 2006.

# コンパクト射出成形機 SVC50の開発

## Development of Compact Injection Molding Machine

徳重信彦\*  
Nobuhiko TOKUSHIGE



図1 コンパクト射出成形機 SVC50  
Compact injection molding machine SVC50

近年、大手家電・自動車関連メーカーで、生産革新やFAシステムの自社開発によって国内での製造復活をめざす動きがある。樹脂成形においてもインフラコストの削減要求が強まり、成形機の大幅なイニシャルコストや設置スペースの低減、成形機のインライン化が求められている。

このような状況の下で、成形機サイズが2000(L)×1000(W)×2000(H) mmの縦型締（型締力490 kN〔50 tf〕）横射出のコンパクト射出成形機SVC50を開発した。

本機は、縦型型締装置の採用および射出機構にHST（Hydro Static Transmission）を採用して全長を抑えている。また、成形機フレーム内（可塑化ユニット下部）に製品取出し機およびコンベヤ設置スペースを確保し、従来成形機と別置きであった取出し機およびコンベヤを内蔵することで、設置スペースを小さくしている。

There is a move to resume domestic manufacturing among major Japanese companies of electric appliances and automotive parts/components through promoting technological innovation and a self-developed factory automation system. The plastic molding industry, under pressure to curtail its capital investment, is requesting a reduction in the costs of injection molding machines, to minimize the installation space required for the machines, and the provision of in-line injection molding machines. Responding to these customer requirements, we have developed the compact injection molding machine SVC50, with a machine size of 2000 mm (L) x 1000 mm (W) x 2000 mm (H) by employing a vertical mold clamping unit with a force of 490 kN (50 tf) for horizontal injection. The compact machine features hydrostatic power transmission (HST) for the injection mechanism and the arrangement of units as well as the vertical clamping unit. The units have been arranged to provide sufficient space to install a take-out robot and a conveyor under a plasticizing unit within the frame of the injection molding machine, which would otherwise need to be separately installed from the machine body.

キーワード：縦型射出成形機，省スペース，油圧式射出機構

### 1 まえがき

近年、大手家電・自動車関連メーカーで、生産革新やFAシステムの自社開発によって国内での製造復活をめざす動きがある。樹脂成形においてもインフラコストの削減要求が強まり、成形機の大幅なイニシャルコストや設置スペースの低減、成形機のインライン化が求められている。

当社では、これらのニーズに対応した、省スペースの射出成形機（SVC50）の開発を行ったので紹介する（図1）。

開発コンセプトを次に示す。

型締力 490 kN（50 tf）

機械寸法 2000（L）×1000（W）×2000（H）mm

機械質量 2 t（金型質量含む）

コスト 横型射出成形機350 tクラス（4個取り）の1/4

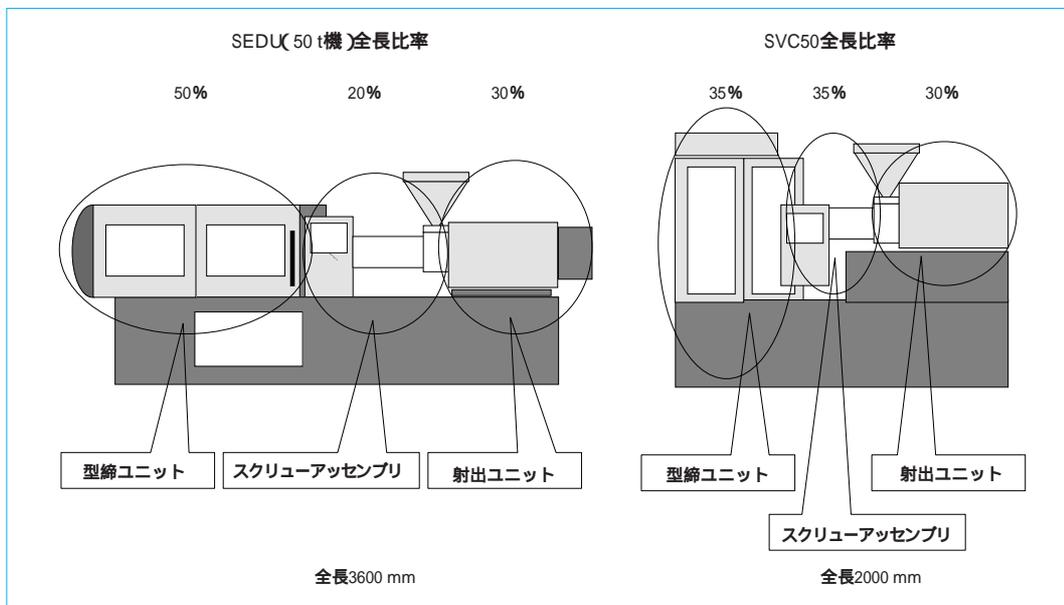


図2 コンパクト化  
Downsizing

## 2 主要仕様

### 型締装置

最大型締力	490 kN (50 tf)
タイパ間隔(横×縦)	310×310 mm
型開閉ストローク	200 mm
金型厚さ(最小～最大)	370～430 mm

### エジェクタ装置

エジェクタ突出力	7 kN (0.8 tf) (最大型開き時)
エジェクタストローク	50 mm

### 可塑化装置

スクリュー直径	25 mm
最大射出圧	121 MPa (1240 kgf/cm <sup>2</sup> )
理論射出体積	49 cm <sup>3</sup>
射出質量 (GPPS)	47g (1.7 OZ)
最大射出速度	105 mm/s

### 機械寸法, 質量

機械寸法	2138(W)×1181(D)×2172(H)mm
機械質量	2.7 t (特別付属品含む)

## 3 コンパクト成形機 (SVC50) の特長

コンパクト成形機SVC50の特長として、次の9項目があげられる。

### 3.1 省スペース

SVC50開発に当たり、最大のテーマとしたのがフロア設置面積を小さくすることであった。このテーマを実現するべく、50 t横型射出成形機の全長3600 mmの50%を占めていた型締装置を縦に配置、また各ユニットごとに細部にわたり検討を行い2000 mmの全長まで抑えることができ、省スペースを実現した。

従来の50 t横型射出成形機 の全長とSVC50の全長に占める各ユニットの比率を、図2に示す。

#### 型締ユニット

トグル機構を採用していることから、横型のままでは省スペース化が困難であった。このことから、下金型駆動の縦型型締方式とした。

#### スクリューアッセンブリ

L/D (スクリュー長さとしクリュー径の比)を17と小さくし、全長を抑えた。

#### 射出ユニット

HST (Hydro Static Transmission) を採用、さらに機構部品の見直しを行い全長を抑えた。

### 3.2 製品取り出し機・コンベヤ設置スペースの確保

成形機フレーム内(可塑化ユニット下部)に製品取出し機およびコンベヤ設置スペースが確保されており、従来成形機と別置きであった取出し機およびコンベヤを内蔵することで、設置スペースが小さくなり省スペース化に貢献している。また、製品取出し機およびコンベヤ制御盤も同様に成形機設置スペース内に収納できるようにスペースを確保している。

成形機フレーム内に製品取出し機およびコンベヤを設置することで、金型とコンベヤの製品搬送ストロークが最短となり、成形品をすばやく取り出すことができることから、サイクルタイムの短縮および成形品質の向上となっている。

### 3.3 縦型型締装置

省スペースを実現するべく、縦型型締装置を採用し全長を抑えた。

従来の縦型成形機では上金型駆動方式を採用しているが、SVC50では下金型駆動の型締装置を開発した。これにより、高い位置に配置した射出ユニットでパーティング射出が可能となった。また、可動部重量の軽減を達成でき、型締モータ容量を minimum とすることができた。

エジェクタ機構は下金型を駆動させて、突出し/戻し動作を行うメカニカルエジェクタ方式を採用した。

### 3.4 射出機構にHSTを採用

HSTとは、ベルトやボールネジの代わりに油圧を用いた動力伝達方式であり、サーボモータ、ポンプ、タンクユニット

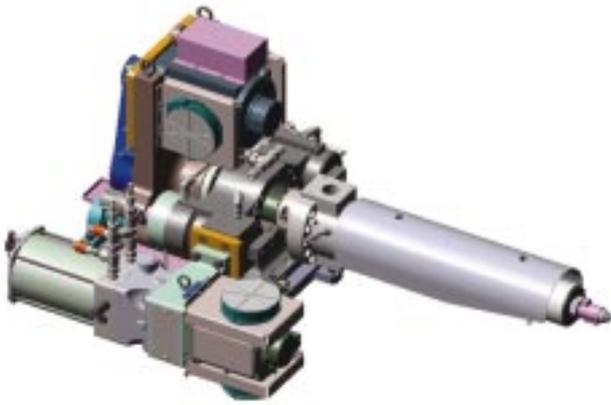


図3 射出装置  
Injection unit

およびアクチュエータ（油圧シリンダ）で構成され、特長として次があげられる（図3，図4）。

配置の自由度が高く、機械をコンパクト化できる。

小型軽量化が図れる。

油圧機の得意な性能である、高出力および長時間保持性を実現している。

ボールネジ+電動システムで有利な部分の制御性および省エネ性を実現している。

このように、従来の油圧機の得意な性質、ボールネジ+電動システムの得意な性質の両方を兼ね備えたシステムであり、省スペース射出成形機の開発に適している。

**射出動作**

サーボモータを正方向に回転させることにより、油圧シリンダが前進する。射出位置は油圧シリンダの動きに合わせてアブソリュートエンコーダが変位するので、これで検知して変速を行い、最終位置で停止する。圧力制御は油圧シリンダ入口および出口に圧力センサが設けられているので、これで検知して圧力制御を行う（図5）。

**戻り動作**

サーボモータを逆方向に回転させることにより、油圧シリンダが後退する。戻り位置は油圧シリンダの動きに合わせてアブソリュートエンコーダが変位するので、これで検知して変速を行い、最終位置で停止する。

今後のHSTの展開として、豎型締、直圧型締およびハイブリッド機などにおいて効果が期待されてる。

**3.5 タッチパネル式カラー大型液晶画面**

12.1インチ大画面タッチパネルLCDを搭載した定評のある「N8コントローラ」を採用した。N8コントローラは最先端の技術と簡単操作が融合した制御システムであり、設定の多い複合成形の条件も視認性の良さとタッチパネルで簡単入力できる。

特長を次に示す。

- 12.1インチ・タッチパネルカラーLCD
- 3ヶ国語ワンタッチ切替え（日本語/英語/中国語）
- 成形条件記憶（内部メモリ：200条件）
- メモリカードインターフェース（オプション）
- 成形支援機能
- 画面ハードコピー機能およびプリンタ接続回路

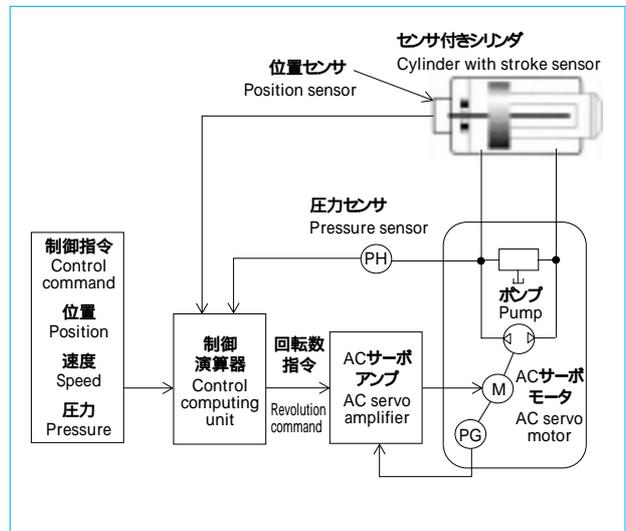


図4 HSTブロック図  
HST block diagram

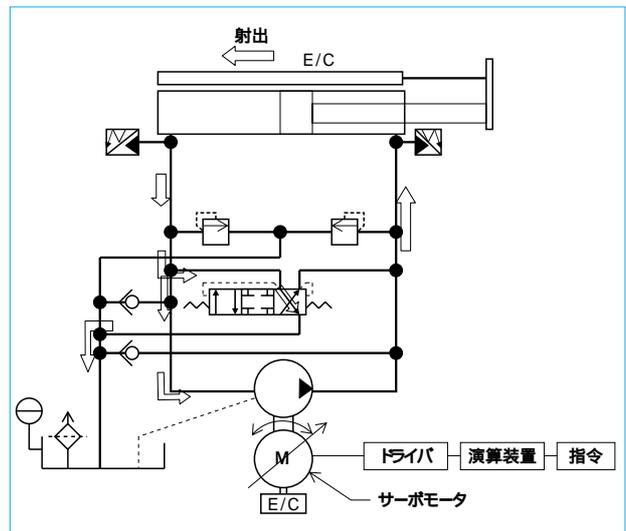


図5 射出動作  
Injection operation

- 自動始動・停止機能
- 成形機状態出力機能
- FA対応
- イーサネットインターフェース対応可能
- 品質管理および解析機能
- 波形表示および解析機能
- 保守管理機能

**3.6 HSTの油圧源を使用したノズルタッチ**

従来の成形機では、ノズルタッチ専用のモータを使用してノズルタッチを行っているが、今回HSTの油圧を利用したノズルタッチを開発した（図6）。

制御概要としては、射出/戻り動作と同様にサーボモータを正方向/逆方向に回転させることにより、ノズルタッチ用油圧シリンダが前進/後進する。狙いの圧力になるまで前進させて電磁弁を切り替え、油圧を封じ込めてタッチ圧力を保持する。タッチ圧力が時間経過とともに若干低下する可能性があるため、タッチ圧力低下の対策として自動運転中の補充

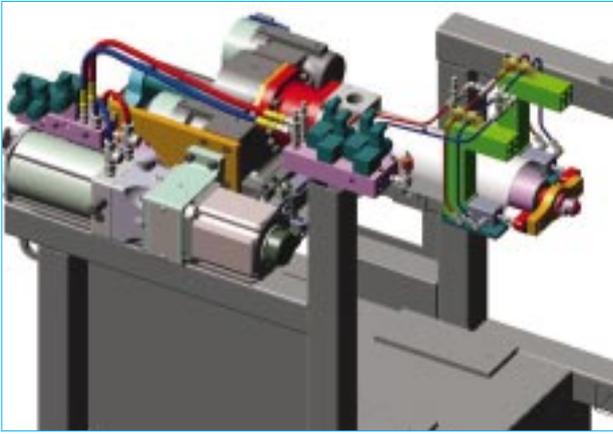


図6 可塑化移動  
Plasticizing movable unit

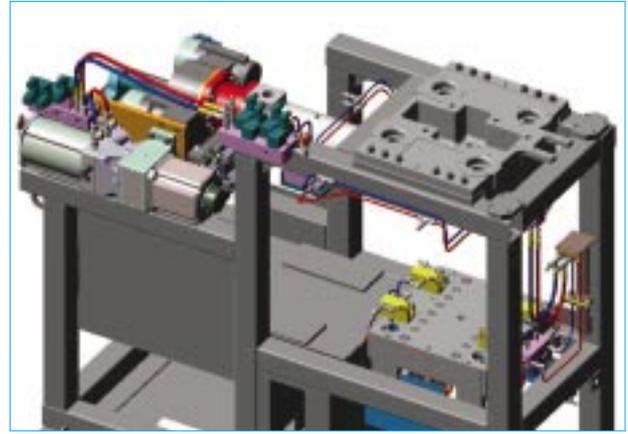


図7 ダイクランプ  
Die clamp unit

を行っている。

### 3.7 HSTの油圧源を使用したダイクランプ

従来の成形機では、ダイクランプ専用の油圧ユニットを使用してダイクランプ制御を行っているが、今回HSTの油圧を利用した上型および下型計1系統のダイクランプ装置を開発した(図7)。

制御概要としては、射出/戻り動作と同様にサーボモータを正方向/逆方向に回転させることにより、ダイクランプ装置がクランプ/アンクランプとなる。狙いの圧力になるまでクランプさせて電磁弁を切り替え、油圧を封じ込めてクランプ圧力を保持する。圧カリーク/熱膨張などによる圧力変動対策として、補充/減圧制御を行っている。また、クランプ/アンクランプ操作の運転条件が整っているか一目で分かるように画面に一括して状態表示を行い、操作性向上となっている。

長時間モータOFFの対策として、圧力が抜けてもアンクランプとならないダイクランプ装置を採用することにより、安全を確保している。

### 3.8 段取り作業性

操作側および反操作側に両開きタイプのスライド式扉を、さらに左側面にドアを設けて作業性向上をはかっている。

金型取付け/取外しの段取り性向上として、プリローラを下プラテンに埋込み金型をスライドできる機構を設けた。これにより、位置決めピンとロケート穴にて金型の位置合わせを簡単に行うことができる。

### 3.9 安全性

射出成形機で採用しているリスクマネジメントの手法を用い、SVC50の開発を行った。安全性の危害の発生確率と発生した危害の重大さを基にリスク分析およびリスク評価を行い、リスクを回避/低減している。

操作側および反操作側の両開きタイプスライド式扉と連動した、メカニカルストッパを装備した。

て、成形機内に製品取出し機およびコンベヤ設置スペースを確保している。

本コンパクト成形機は2004年12月に初号機を納入し、成形評価および操作性/段取り作業性の評価を客先で行った。その結果として、HST油圧源を使用したノズルタッチ装置およびダイクランプ装置の仕様を追加している。現在、生産ラインに導入が進んでいる。

今後の課題として、専用機向けだけではなく汎用機としての満足を得るには、オプションを充実させることが必要である。

(参考文献)

大西祐史. 全電動射出成形機 SE-Dシリーズ. 住友重機械技報, no.150, Dec., 2002.

## 4 むすび

本コンパクト成形機は、成形機本体の省スペース化として縦型の型締装置および射出ユニットにHSTを採用している。さらに、周辺装置を含めた省スペース化とし

# 熱天秤による都市ごみの熱分解速度の測定

## Thermogravimetric Measurements for Thermal Decomposition Rate of Municipal Solid Waste

小川 彰 一\* 末 広 文 一\*

Shoichi OGAWA

Fumikazu SUEHIRO

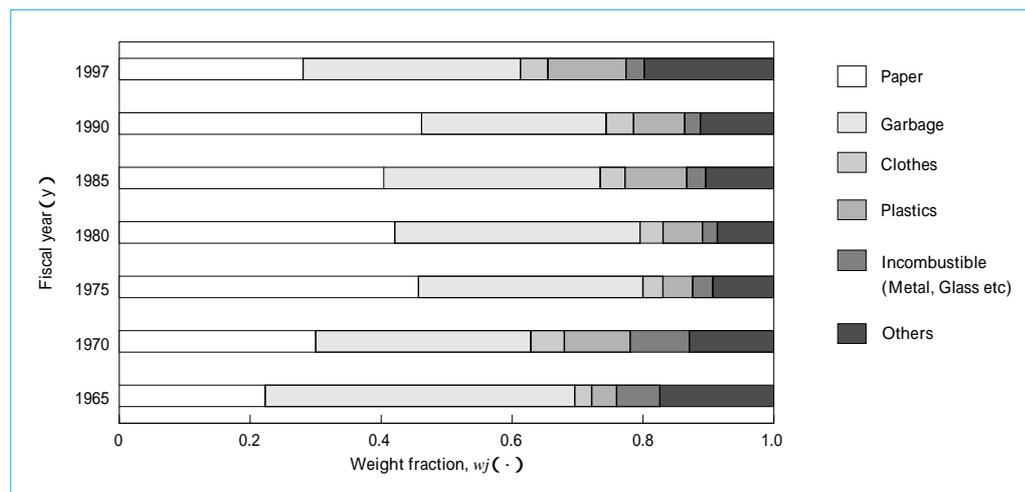


図1 国内における都市ごみの年度別組成比率  
Composition in MSW in Japan

都市ごみの主な組成である茶葉、綿、紙、木材（以上植物系セルロース）、魚肉およびプラスチック類（PE, PP, PS, PETおよびPVC）に対する熱分解動特性パラメータを測定した。植物系セルロースおよび魚肉は、温度550～650 Kの範囲で急速に分解する。植物系セルロースの残渣は20～27 wt%、魚肉の残渣は37 wt%である。PE, PPおよびPSは、600～750 Kの温度域で最も速い減量を示した。一方、PETとPVCは低温域と高温域の2領域で熱分解が進む。PETとPVC以外の試料は、770 K以下の温度で熱分解が完了した。

さらに、全試料に対する頻度因子および活性化エネルギー分布の熱分解動特性パラメータをModified volume reaction model を用いて決定した。

Thermogravimetric data for each component of Municipal Solid Waste (MSW) were obtained. The cellulose (tea leaf, cotton, paper and wood) and fish meat decomposed rapidly at the temperature range of 550-650 K. The yields of residual char were 20-27 wt% for cellulose and 37 wt% for fish meat. For PE, PP and PS, the loss in weight occurred in the temperature range of 600-750 K with a maximum rate. For PET and PVC, on the other hand, there existed two distinct areas of weight loss, which represented a lower and a higher temperature of decomposition. Thermal decomposition of samples except PET and PVC completed below 770 K. The kinetic parameters of thermal decomposition reaction, pre-exponential factors and distribution of activation energies were determined by applying a modified volume reaction model.

キーワード：都市ごみ、ガス化炉、熱分解反応、活性化エネルギー

## 1 まえがき

厨芥類、草木、紙類およびプラスチック類など多様な組成で構成される都市ごみを熱分解・ガス化して、有益なガスを得る熱分解・ガス化プロセスの実用化が進められている。これら有機物の熱分解・ガス化を検討するには、熱分解反応の頻度因子および活性化エネルギーなどの動特性パラメータやガス化反応に関する知見を得ることが非常に重要である。ガス化炉内では、複雑な化学構造を有する有機物の熱分解反応が並列的に進行するので、これらの熱分解反応における熱分解動特性パラメータは単一反応とは異なり活性化エネルギーの関数となる。

そこで、本研究では都市ごみを構成する個々の固体成分の熱分解反応における減量特性を検討し、分布活性化エネルギーモデルを用いて、1次並列反応における頻度因子および活性化エネルギー分布関数を算出し、熱分解反応の特性を検討した。

## 2 実験装置および方法

### 2.1 試料

都市ごみの物理組成は、季節、地域、経済の発展とともに変化する。都市ごみの組成が年々変化する様子を、図1に示す。しかし、その主たる組成は、同図に示すように紙、厨芥、草木および繊維で常に80 wt%前後を占める。都市ごみに占

表1 都市ごみ組成の工業分析  
Approximate analysis of samples

Sample	Moisture	Volatile matter	Fixed carbon	Ash
	%	%	%	%
Tea leaf	3.7	73.8	18.5	4.1
Cotton	4.0	85.8	10.0	0.2
Paper	4.4	85.1	5.0	5.4
Wood	6.9	80.9	11.7	0.6
Fish meat	7.2	73.5	1.7	16.8

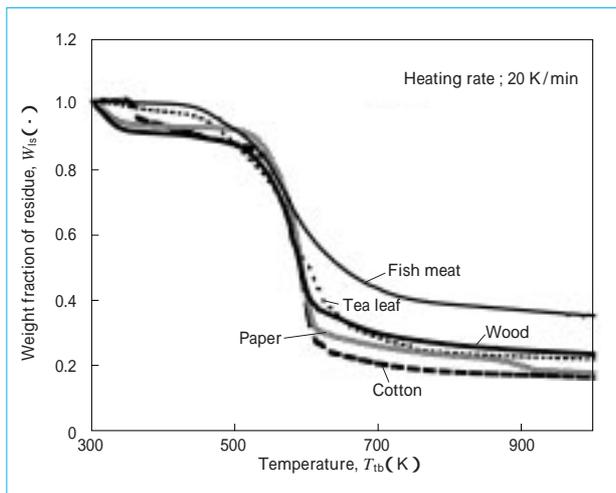


図2 都市ごみの加熱減量曲線  
Change in weight fraction of residue with temperature for different components in MSW

める比率が大きい紙，厨芥，繊維および草木を，性状が安定している事務用紙，茶葉・魚肉（鯿），綿および木材（杉）でそれぞれ代表させた。これらの工業分析結果を，表1に示す。

また，都市ごみ中のプラスチックは約10 wt%であるが，分別収集が普及するに従い最近では5 wt%前後に低減している地域もある。しかし，プラスチックの比率は小さくなってきているが，都市ごみ中の熱量比率から考えると組成として考慮する必要がある。そこで，都市ごみ中プラスチックの90 wt%前後を占めるポリエチレン（PE），ポリプロピレン（PP），ポリエチレンテレフタレート（PET），ポリ塩化ビニル（PVC），ポリスチレン（PS）を選び，試料とした。

### 2.2 加熱減量実験

各試料に対する加熱減量特性を熱天秤（株式会社島津製作所製 DTG-50型）にて測定した。試料の昇温を開始する前に20分間窒素ガスで系内をパージし，還元雰囲気中に保持した後，窒素ガスを $1.67 \times 10^{-6} \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{s}$ （100 m N/min）流通しながら昇温速度10，20または40 K/minで1100 Kまで昇温して実験を行った。この間，試料重量を温度の関数として連続的に測定した。各試料は，あらかじめ380 Kにて24時間恒温槽にて乾燥を行った後に，約10 mg精秤して加熱減量試験に供した。前記の昇温速度3点を選定し，分布活性化エネルギーモデル（Distributed Activation Energy Model DAEM）にて熱分解動特性パラメータである頻度因子および活性化エネルギー分布関数を求めた。

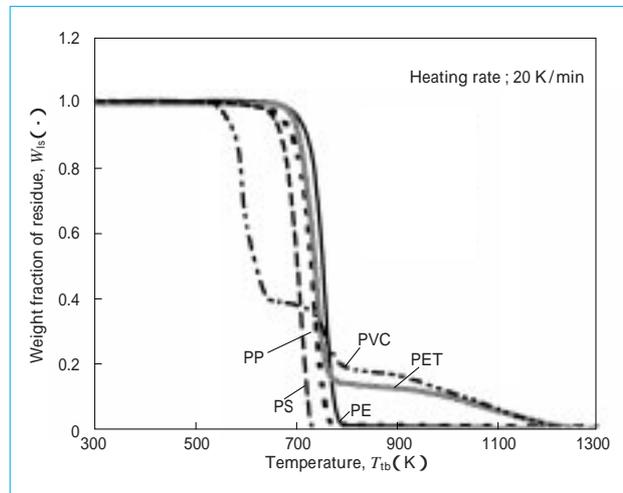


図3 プラスチックの加熱減量特性  
Change in weight fraction of residue with temperature for different components in plastics

## 3 結果および考察

茶葉，綿，紙，木材，および魚肉の昇温速度20 K/minにおける加熱減量特性を，図2に示す。縦軸は，初期試料質量 $M_0$ に対する残存物質質量 $M$ の割合である。茶葉，綿，紙および木材は水分が蒸発した後に，550~650 Kから急激に分解が進行して，約650 Kを超えた領域で緩やかな分解となる。これらの試料の770 Kにおける残渣は工業分析結果の灰分および固定炭素と相関があることが分かる。セルロースの熱天秤による測定では，熱分解は570~620 Kで急激に分解し，その後はほとんど減量がなく，620 K付近までに初期分解を終えることが知られている。したがって，植物系の前記試料はセルロースと類似の特性を示していることが分かる。

一方，魚肉は470 Kから緩やかな分解が始まり，植物系試料より緩やかな熱分解が740 K程度の温度域まで続く特性を示す。

プラスチックの加熱減量特性を，図3に示す。プラスチックの減量特性は，次の3類に大別できる。

PE，PPおよびPSはいずれも狭い温度域で急激な減量が起こり，残渣がなくなる特性を示す。

PETは700~750 Kで急激に熱分解し，750 K以上においては残留揮発分の緩やかな熱分解が進む。

PVCは2段階の急激な熱分解がある。まず，550~620 Kにおいて脱塩化水素による減量が現れ，その後，700~770 Kにおいて緩やかな脱揮が進み，770 Kにおいて残渣は約21 wt%となる。プラスチックは茶葉，綿，紙，木材および魚肉と同様に770 Kにおいて熱分解を完了するが，約100 K高い温度で熱分解が開始する。

茶葉，綿，紙，木材および魚肉は複雑な化学構造をしたセルロース，ヘミセルロースおよびタンパク質などの成分より構成されていることから，これらの試料の熱分解では異なる分解エネルギーを示す多数の反応が並列に進行する。このことから，単一反応として特性パラメータを決定することには問題があると考えられる。

そこで，1次並列反応の特性パラメータ，すなわち頻度因子 $A_0(E)$ と規格化された分布曲線 $f(E)$ を以下のように，

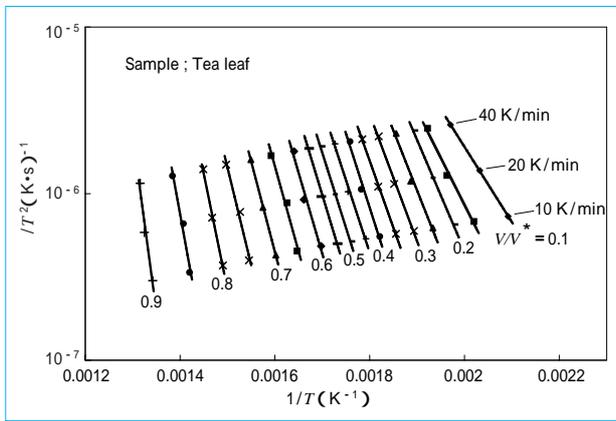


図4 茶葉のアレニウスプロット  
Arrhenius plots of  $\ln(1/T^2)$  vs  $1/T$  at selected  $V/V^*$  values for tea leaf

DAEMを用いて決定した。

熱分解を1次反応とすると、反応式は次式で表される。

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{V^* - V}{V^*} \right) = A_0(E) f(E) \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \dots \dots \dots$$

：熱分解時間  $V^*$ ：初期揮発分比率  $V$ ：経時後の揮発分比率  $T$ ：熱分解反応温度

反応速度式の積分形は、次式で与えられる。

$$1 - \frac{V}{V^*} = \int_0^E (-A_0(E))_0' \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) f(E) dE \dots \dots \dots$$

$f(E)dE$ ：活性化エネルギーが $E$ と $E+dE$ の間にある熱分解反応の存在確率

式の $A_0(E)$ ,  $E$ ,  $f(E)$ を求めるには、少なくとも三つの異なる昇温速度において得られた熱減量曲線結果を用いて、所定の $V/V^*$ 値における $\ln(1/T^2)$ 対 $1/T$ をプロットする。そして、活性化エネルギー $E$ と頻度因子 $A_0(E)$ は、それぞれ異なった $V/V^*$ 値に対する式に示したアレニウスプロットより求める。(ここで  $\Delta T$  は昇温速度)

$$\ln\left(\frac{1}{T^2}\right) = \ln\left(\frac{A_0 R}{E}\right) + 0.6075 - \frac{E}{RT} \dots \dots \dots$$

さらに、式に示した $V/V^*$ 値と活性化エネルギーの関係性を $E$ で微分して $f(E)$ を求めることができる。

$$\frac{V}{V^*} \cong 1 - \int_{E_s}^{\infty} f(E) dE = \int_0^{E_s} f(E) dE \dots \dots \dots$$

例として、茶葉に対する $\ln(1/T^2)$ 対 $1/T$ の関係を図4に示す。活性化エネルギーおよび各活性化エネルギーに対応した頻度因子は、式を用いて図4に示す曲線群の勾配と切片より求められる。

他の試料に対する動特性パラメータも同様の方法で求めた。その結果を茶葉、綿、紙、木材および魚肉に対しては図5に、プラスチックに対しては図6にそれぞれ示す。

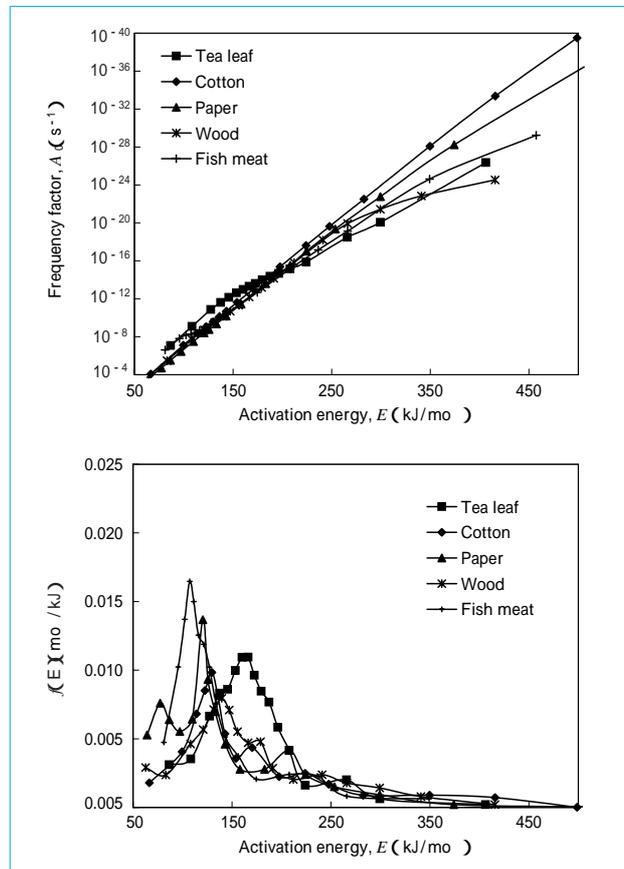


図5 茶葉、綿、紙、木材、魚肉の頻度因子および活性化エネルギー分布曲線  
Frequency factors and distribution curves for tea leaf, cotton, paper, wood and fish meat

図5および図6に示すように、茶葉、綿、紙、木材および魚肉の活性化エネルギーは、それぞれ60~220, 70~200, 100~150, 80~210と80~180 kJ/molの広がりを持っていることが分かる。一方、PE, PP, PET, PVCおよびPSは、それぞれ150~180と210~250, 160~240, 200~280, 200~260および160~250 kJ/molの値を示す。植物系の試料および魚肉の分布曲線はプラスチックと比較して幅広い形を示す。これは、異なった活性化エネルギーの熱分解反応が同時に進行していることを示す。その理由として、これらの試料は、異なった分解エネルギーを有する結合が多数存在するセルロース、ヘミセルロース、ペクチンおよびリグニンなどで構成されていることによると考えられる。

分布曲線がピークを示す活性化エネルギー、すなわち主反応の活性化エネルギーは茶葉、綿、紙、木材および魚肉に対して、それぞれ、165, 130, 120, 140および110 kJ/molである。これらに対する既報値は、茶葉が172 kJ/mol、綿が115 kJ/mol、各種の紙が97~136 kJ/mol、木材(セルロースとヘミセルロース、リグニンの一部を含む)が143 kJ/molである。これは単一反応として算出した活性化エネルギーであるが、DAEMにて求めた主反応の活性化エネルギーと良い一致をみた。また魚肉に対する活性化エネルギーの報告は少ないが、タンパク質である牛肉の活性化エネルギーは111 kJ/molである。

一方、プラスチックの分布曲線は前記した植物系試料と比較して狭い幅の形を示し、同じ活性化エネルギーを持つ単一反応に近いことを示している。これは、プラスチックの熱分

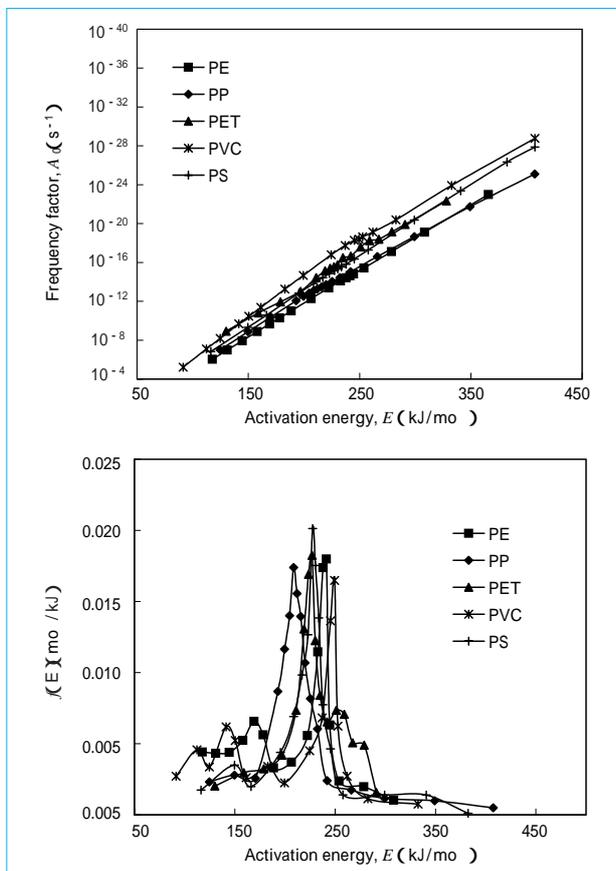


図6 プラスチックの頻度因子および活性化エネルギー分布曲線  
Frequency factors and distribution curves for plastics

解は一定の分解エネルギーを持つ主鎖や側鎖の切断によると考えられる。プラスチックの分布曲線のピークを示す活性化エネルギー、すなわち主反応の活性化エネルギーは、PE、PP、PET、PVCおよびPSに対して、それぞれ240、210、230、140と250および230 kJ/mo である。多くの研究者のプラスチックの活性化エネルギーをまとめた報告によれば、PEが201~290 kJ/mo、PPが188~285 kJ/mo、PSが165~273 kJ/mo であり、研究者により異なった値が得られている。PETは274 kJ/mo であるが、PVCは190 kJ/mo の報告と110 (ベンゼンの分離)、140 kJ/mo (脱塩化水素反応)および388 kJ/mo (残留炭化水素の反応)の三つの活性化エネルギーを持つ報告がある。それぞれのプラスチックが異なる活性化エネルギーを持つのは、化学的構造に由来すると考えられる。PE、PPおよびPSは主にC-C、C-H結合で構成される。C-CおよびC-Hの結合エネルギーは、それぞれ341および415 kJ/mo である。これらの結合エネルギーは活性化エネルギーと同等な値を示すと考えられるが、上記のように大きな違いが見られる。これは、異なった化学構造が活性を変化させていることによると考えられる。ベンゼン環はPS中にある分子結合の結合エネルギーを低下させ、PPよりも低い活性化エネルギーとなる。同様に、メチル基はモノマの連なったPPの活性を低下させる。PVCでは二つの主なピークが観測され、第1ピークの活性化エネルギーは140 kJ/mo である。この値は、報告されている脱塩化水素反応の活性化エネルギー140 kJ/mo と一致する。第2ピークは、脱塩化水素反応により生成されたC=C結合を含む残留炭化水素の分解によると考えられる。PETの分布曲線は活

性化エネルギーが250~280 kJ/mo の高い領域において大きな値を示す。これは、残留炭化水素中のC=C結合らの分解と考えられ、熱天秤の減量曲線が広い範囲の温度域にわたり、緩やかに減量する特性と対応していると考えられる。加熱減量実験で残渣が発生したPVCとPETの活性化エネルギーは、既報値と良い一致を見なかった。この理由として、残渣の熱分解への触媒作用による影響があげられる。

以上述べたように、DAEMにより求めた主反応に対する活性化エネルギーは、単一反応の活性化エネルギーと比較して良い一致をみた。さらに、並列反応による広範に広がった活性化エネルギーの分布を知ることができた。今後、発生するガス種と量を知ることにより、炉内の反応を詳細に知ることができる。

#### 4 むすび

多様な組成で構成される都市ごみを、その80 wt%以上を占める茶葉、綿、紙(事務用紙)、木材(杉)、魚肉(鰯)およびプラスチック(PE、PP、PET、PVC、PS)で代表させて、熱天秤による加熱減量特性を調べた。その結果、以下のことが明らかとなった。

分布活性化エネルギーモデルを用いて、並列反応を起こす都市ごみの熱分解動特性パラメータ、すなわち頻度因子および規格化した活性化エネルギー分布曲線を明らかにした。

活性化エネルギーは植物系セルロースは60~220 kJ/mo、プラスチックは150~280 kJ/mo に分布する。

存在確率が最大値を示す主反応の活性化エネルギーは、単一反応として求めた活性化エネルギーと良く一致した。

#### (参考文献)

- Miura, K. and T. Maki. A Simple Method for Estimating  $f(E)$  and  $k_0(E)$  in the Distributed Activation Energy Model. *Energy & Fuels*, 12, p.864-869, 1998.
- Yurugi, T., H. Iwata and M. Okuma. Thermal Degradation of Cellulose. *Journal of the Chemical Society of Japan*, p.733-737, 1975.
- Kawaguchi, K., K. Miyakoshi and Momoni. Studies on the Pyrolysis Behavior of Gasification and Melting Systems for Municipal Solid Waste. *J. Master Cycles Waste Manag*, 4, p.102-110, 2002.
- Waymack, B., M. Hajaligol and T. Fisher. Pyrolysis Kinetics of Cellulosic Materials. *Chem Phys Process Combust*, p.281-284, 1999.
- Sorum, L. M. G. Gronli and J. E. Hustad. Pyrolysis Characteristics and Kinetics of Municipal Solid Waste. *Fuel*, 80, p.1217-1227, 2001.
- Branca, C. and C. D. Blasi. Kinetics of the Isothermal degradation of Wood in the Temperature range 528-708 K. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 67, p.207-219, 2003.
- Steet, J. A. and C. H. Tong. Thiamin Degradation Kinetics in Pureed Restructured Beef. *Journal of Food Process Preservation*, 18, p.253-262, 1994.
- Westerhout, R. W., J. Waadwers, J. A. M. Kuipers and W. P. M. van Swaaij. Kinetics of the Low-Temperature Pyrolysis of Polyethylene, Polypropylene, and Polystyrene Modeling, Experimental Determination, and Comparison with Literature Models and Data. *Ind. Eng. Chem. Res.* 36 (6), p.1955-1964, 1997.
- Bockhorn, H., A. Hornung, U. Horunung, S. Teepe and J. Weichmann. Investigation of the Kinetics of Thermal Degradation of Commodity Plastics. *Combust. Sci. Tech.*, 116, p.129-151, 1996.
- Bartok, W., and A. F. Sarofim. *Fossil Fuel Combustion*. 1st ed. p.788, 1991, John Wiley & Sons, Inc., New York, U.S.A.

# 一般廃棄物の熱分解に関する実験的研究

## Experimental Study on Pyrolysis of Municipal Solid Waste

小川 彰 一\* 末 広 文 一\*

Shoichi OGAWA

Fumikazu SUEHIRO

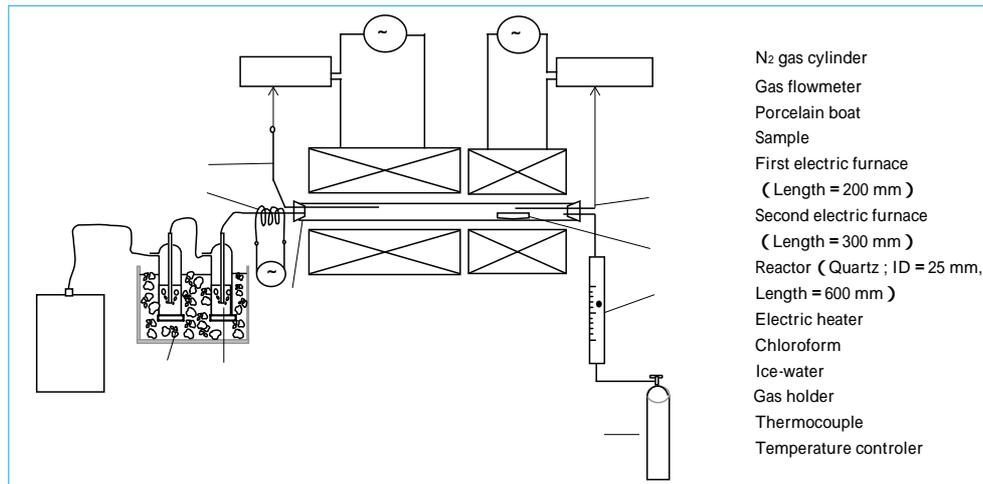


図1 熱分解実験装置の概要  
Schematic diagram of pyrolysis apparatus

一般廃棄物中の約80 wt%を占める茶葉、綿、紙、草木（セルロース系）および魚肉を、また、プラスチック類はプラスチック類の90 wt%を占めるポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン、ポリエチレンテレフタレートおよびポリ塩化ビニルを試料とし、発生するガスの種類、発生量に関して基礎的な検討を行った。

実炉を想定して、全ての試料が熱分解を完了する770 Kで得られた熱分解ガスを、さらに、1020~1220 K、5~15秒で2次熱分解を行った。温度を高く、時間を長くするに従い有効なガス種であるH<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>および他の低級炭化水素は増加し、実炉において附着問題を引き起こすタールは減少した。770 Kにおける1次熱分解で発生したタール量と1220 K、15秒で2次熱分解した後のタール量を比較すると、タールのモル分率は0.1~1.0から0.1以下に減少した。

Tea leaf, cotton, paper, wood and fish meat, and plastics of PE, PP, PET, PVC and PS in municipal solid waste were used as specimen for basic pyrolysis study. The pyrolysis gases generated at 770 K were further degraded at 1020-1220 K for 5-15 s. With increasing temperature and space time, the amounts of H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and the other hydrocarbons with low molecular weight increased, while the amount of tar (more than seven of carbon number) adhered on the equipments in the practical reactor decreased. Comparing the amount of tar derived during pyrolysis at 770 K with that of degradation at 1220 K for 15 s, the tar content with 0.1-1.0 molar fraction generated from each component in Municipal Solid Waste (MSW) decreased to that below 0.1.

キーワード：熱分解，廃棄物，プラスチック，ガス成分

### 1 まえがき

近年、一般廃棄物を熱分解・ガス化し、有益なガスを得る技術が注目されている。

昇温に部分燃焼法を用いたガス化炉内では、燃焼、熱分解およびガス化反応が同時に進行する。しかし、種々の組成より構成される一般廃棄物をガス化する場合、熱分解・ガス化にて得られるガス種は多様である。

そこで、主な一般廃棄物成分を個々に熱分解して、得られるガス状成分、ガス量と熱分解温度、熱分解時間の関係を求め、一般廃棄物組成の基本的な熱分解特性を検討した。

### 2 実験装置および方法

#### 2.1 試料

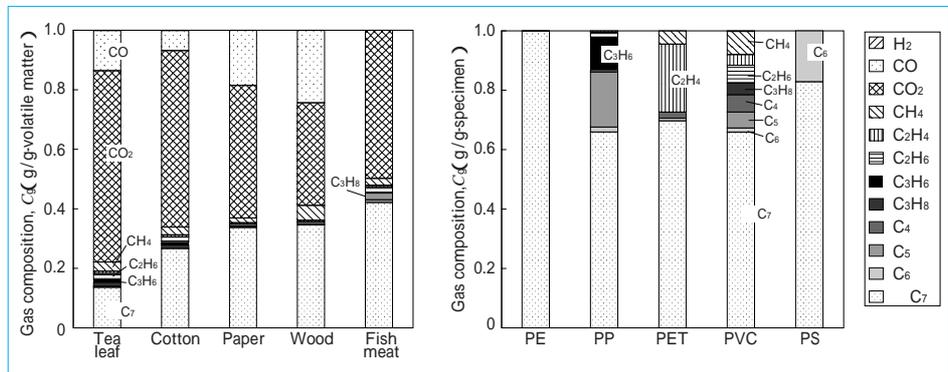
一般廃棄物の物理組成は、季節、地域および経済の発展とともに変化する。しかし、その主たる組成は、紙、厨芥、草木および繊維で常に80 wt%前後を占める。本研究では、一般廃棄物に占める比率が大きい紙、厨芥、繊維および草木を、性状が安定している事務用紙、茶葉・魚肉（鰯）、綿および木材（杉）でそれぞれ代表させた。また、一般廃棄物中のプラスチックは約5~10 wt%である。しかし、一般廃棄物中の熱量比率から考えると組成として考慮する必要がある。そこで、一般廃棄物中プラスチックの90 wt%前後を占める

表1 試料の元素分析結果  
Ultimate analysis of plastics

Specimen	N %	C %	H %	Cl %	Others(*) %
Polyethylene	1.0	85.0	14.0	-	-
Polypropylene	-	82.0	18.0	-	-
PET	2.5	61.8	4.0	-	31.7
PVC	1.6	38.7	5.3	53.2	-
Polystyrene	1.0	90.8	8.2	-	-

(\*) Balance

図2 770 Kにおける1次熱分解後のガス組成  
Composition in gas generated at 770 K in 1st furnace



ポリエチレン (PE), ポリプロピレン (PP), ポリエチレンテレフタレート (PET), ポリ塩化ビニル (PVC) およびポリスチレン (PS) を選び、試験試料とした。実験に用いた試料の元素分析結果を、表1に示す。

### 2.2 熱分解実験

熱分解実験装置の概要を、図1に示す。実験装置を、キャリアガス (N<sub>2</sub>) 供給源、設定温度の異なる二つの電気炉、発生ガス中油分の吸収装置およびガスホルダより構成した。第1電気炉は固体試料を1次熱分解する目的に、第2電気炉は熱分解して発生したガス状成分をさらに所定の反応温度、反応時間で2次熱分解する目的に使用した。また、キャリアガス流量を変化させることにより、熱分解成分の電気炉内空間時間を調整できるようにした。

実験は、次のように進めた。第1電気炉を室温に、第2電気炉を所定の温度に設定し、約200 mg精秤した試料を磁器ポートに入れて第1電気炉中央に設置し、窒素ガスの流量を所定量に設定して系内を約2時間置換した。その後、第1電気炉を、全ての試料が熱分解を完了する770 Kまで急速に昇温させた。第2電気炉の温度は1020、1120または1220 Kとし、窒素ガスの流量を順次変化させて、発生ガス種、ガス量と熱分解温度、空間時間の関係を調べた。この時、2次熱分解炉のガス空間時間  $t$  は、均熱帯長さ  $L$ 、窒素ガス流量  $Q_{N_2}$ 、反応管断面積  $S_{re}$  より、 $t = S_{re} L / Q_{N_2}$  にて算出した。

熱分解にて発生したガス状成分のうち、油分を吸収装置にて、H<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>および低分子量炭化水素などをガスホルダにて捕集した。捕集したガスおよびクロロホルム液はガスクロマトグラフィ (株式会社島津製作所製 GC-8A型) にて成分を分析した。それぞれの熱分解実験が終了した後、炉内を400 K以下に降温して残渣を取り出し、デシケータ内で冷却した後に重量測定に供した。

## 3 結果および考察

### 3.1 1次熱分解

1次熱分解における、試料のガス成分および発生量について考察する。

#### 3.1.1 セルロースおよびタンパク質

紙、茶葉、綿、木材および魚肉を770 Kにおいて1次熱分解して得られたガスは、H<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>、C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>、炭素数が4、5、6および7以上のC<sub>4</sub>、C<sub>5</sub>、C<sub>6</sub>、C<sub>7</sub>の各成分である。熱分解成分の炭素数4以上の成分に対しては同定は行わずに、同等の沸点を持つ  $n$ -パラフィン系の炭素数で示した。したがって、同一炭素数でも  $n$ -パラフィン

系、芳香族炭化水素や分岐パラフィンは沸点が異なるので、ここで定めた炭素数は必ずしも各成分の実際の炭素数とは一致しない。ただし、C<sub>7</sub>は別途GC/MSにて実施した分析で、ベンゼンであることを確認した。

図2に示すように、植物系セルロースのうち、紙と木材はタール (C<sub>7</sub>以上) が多く発生する。これは、D-グルコピラノース (D-glycolpyranose) の分解が進み、リボグルコサン (levoglucosan) が生成されたのが主因である。また、C-O、C-C結合の開裂によるCO、CO<sub>2</sub>が生成され、両試料はガス成分も類似の特性を示した。茶葉と綿は紙と木材に比較すると、1次熱分解においてタール成分の分解が進み、CO<sub>2</sub>やC<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>、C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>などの炭化水素が多く発生し、タール成分は少ない。茶葉と綿は、紙と木材に比較すると低分子化が容易であると言える。

#### 3.1.2 プラスチック

各プラスチックを770 Kにて熱分解して得られたガス中の成分を、図2に示す。PE、PSからの主生成物はタールである。熱天秤による重量変化の測定では、PEは760~770 Kにおいて分解が終了するのに対して、PSは720~730 Kで熱分解が終了し、PEの方が熱分解しにくい。そのことから、770 Kでは再結合などの停止反応により、主にC<sub>7</sub>以上の炭化水素が主成分になると考えられる。これに対して、PSはPEより主鎖の切断が進行して低分子量化するが、モノマがC<sub>7</sub>以上であるので、770 Kでは多量のタールが発生すると考えられる。したがって、熱分解温度が低すぎてPEに対しては主鎖の切断が不十分であり、PSに対してはモノマの分解まで至らないと言える。

PPの熱分解では、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>が0.02 kg/kg-specimen、C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>が0.11 kg/kg-specimen、C<sub>5</sub>が0.19 kg/kg-specimenそれぞれ測定された。PE、PSと比較すると低分子量の成分が多く発生する。また、C<sub>7</sub>以上のタールはJamesらの結果を考慮合わせると、解重合により生じたプロピレンの多量体やジメチルヘプタンなどと考えられる。

PVCはC<sub>7</sub>以上が約0.65 kg/kg-specimen発生するが、CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>、C<sub>4</sub>、C<sub>5</sub>、およびC<sub>6</sub>と多種に分解していることが分かる。これは、脱塩化水素反応により発生したポリエンがさらに切断されて、C=Cを主骨格とする炭素数2~6の炭化水素が生成されることによると考えられる。

第1電気炉における熱分解により、大きな分子は分解して、上記のガス状成分と残渣になる。770 Kにおける熱分解では試料中の揮発分の84 wt%以上は揮発し、残渣は植物系セルロースが20~27 wt%、魚肉が37 wt%である。プラスチックは、PETおよびPVCを除いて770 K以下で全て分解する。

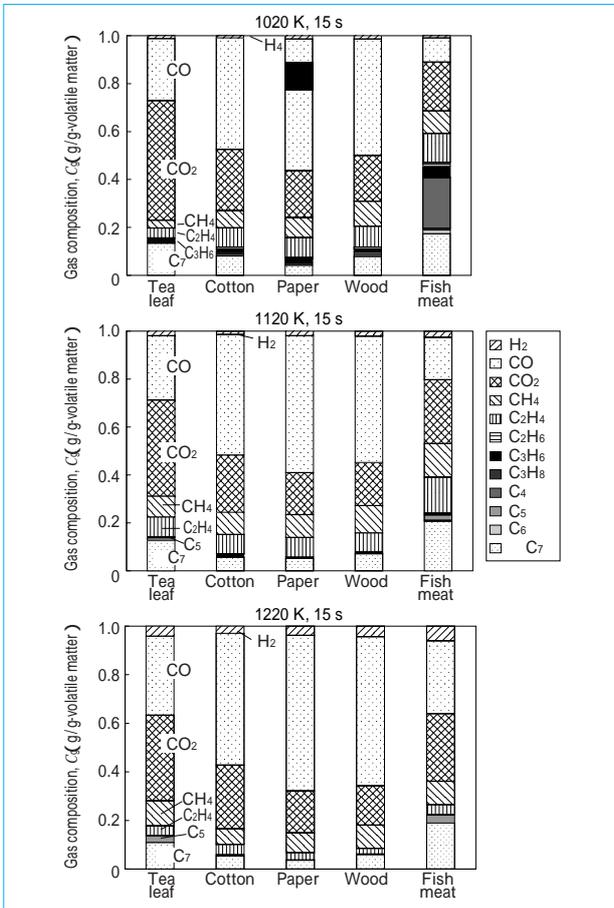


図3 1020, 1120および1220 K, 15 s間2次熱分解後のガス組成  
Composition in gas generated for 15 s at 1020, 1120 and 1220 K in 2nd furnace

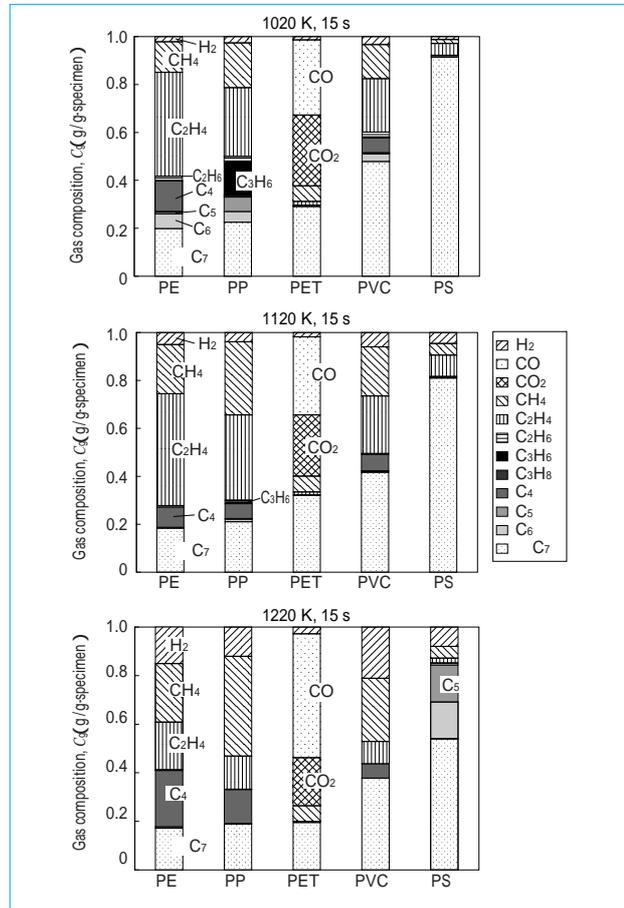


図5 1020, 1120および1220 K, 15 s間2次熱分解後のガス組成  
Composition in gas generated for 15 s at 1020, 1120 and 1220 K in 2nd furnace

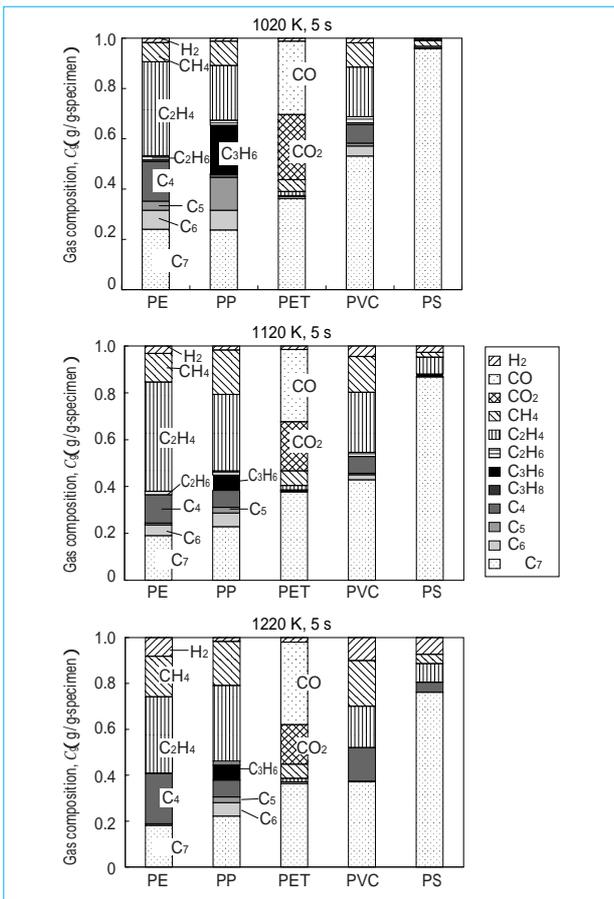


図4 1020, 1120および1220 K, 15 s間2次熱分解後のガス組成  
Composition in gas generated for 5 s at 1020, 1120 and 1220 K in 2nd furnace

### 3.2 2次熱分解

2次熱分解における、試料のガス成分および発生量について考察する。

#### 3.2.1 セルロースおよびタンパク質

770 Kにて得られた1次熱分解成分を、さらに1020, 1120および1220 Kにてそれぞれ5, 10, 15秒間2次熱分解させて得られたガスの成分のうち15秒の結果を、図3に示す。いずれの試料も高温にするに従い、C-H, C-C, C=C結合の切断や鎖式および環状炭化水素の分解が進行して、タール成分(C<sub>7</sub>以上)が減少し、H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>や炭素数が低い炭化水素の量が増加していることが分かる。特に魚肉は、770 Kの熱分解では42 wt%の最も多いタールを発生したが、そのガスを1220 K, 15秒熱処理するとタールが18 wt%に減少し、逆に発生しなかった水素は5 wt%に増加した。

#### 3.2.2 プラスチック

植物系セルロースと同様に、プラスチックを2次熱分解させて得られたガス成分のうち5, 15秒の結果を、図4および図5に示す。いずれの試料も高温にするに従い、また、長時間処理するに従いC<sub>7</sub>以上の成分が減少し、H<sub>2</sub>や低分子化した炭化水素が増加して熱分解が進行していることが分かる。

PEからは、1020 Kの2次熱分解にて、H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>4</sub>, C<sub>5</sub>およびC<sub>6</sub>の多種の成分が発生する。PEのタールの重量比率は770 Kの1次熱分解では1であったのに対して、1220 K, 15秒の2次熱分解後には0.17となり83%激減する。PEの化学構造は2次熱分解にてガスや低分子量の成分に容易に分解しやすいことが分かる。

表2 回帰式の係数  
Coefficients in Eq. (1)

			tea leaf	Cotton	Paper	Wood	Fish meat	PE	PP	PET	PVC	PS
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$j$	$i$	$\bar{y}_i, \bar{y}_j, \bar{y}_{ij}$										
H <sub>2</sub>	1	$i1$	8.74E-05	5.54E-05	7.76E-05	9.86E-05	8.59E-05	2.57E-04	1.66E-04	4.94E-05	7.98E-05	1.99E-04
		$i1$	3.06E-04	2.89E-04	3.16E-04	1.67E-04	8.32E-05	1.62E-03	2.43E-03	2.43E-04	3.53E-04	7.45E-04
		$i1$	-8.85E-02	-4.90E-02	-7.60E-02	-9.57E-02	-8.51E-02	2.69E-01	-1.80E-01	-4.53E-02	-8.15E-02	-2.05E-01
CO	2	$i2$	3.71E-04	5.08E-04	6.79E-04	6.05E-04	3.36E-04	0	0	5.70E-04	0	0
		$i2$	3.18E-03	-7.21E-03	6.12E-03	7.18E-03	-1.90E-04	0	0	8.74E-03	0	0
		$i2$	-3.02E-01	-2.34E-01	-4.64E-01	-4.26E-01	-2.97E-01	0	0	-4.38E-01	0	0
CO <sub>2</sub>	3	$i3$	-1.18E-04	9.39E-05	-5.11E-07	3.40E-05	7.20E-05	0	0	-3.19E-04	0	0
		$i3$	7.59E-03	-1.37E-04	3.56E-03	2.50E-03	4.39E-03	0	0	4.94E-03	0	0
		$i3$	2.54E-01	9.74E-03	6.68E-02	3.45E-02	-3.93E-02	0	0	4.98E-01	0	0
CH <sub>4</sub>	4	$i4$	1.58E-04	6.81E-05	5.10E-05	5.18E-05	1.95E-05	2.46E-04	4.31E-04	3.60E-05	4.64E-05	9.45E-05
		$i4$	2.79E-04	-7.39E-04	1.18E-03	3.99E-04	-2.57E-04	3.51E-04	4.07E-03	1.20E-03	1.64E-03	9.69E-04
		$i4$	-1.39E-01	-3.08E-02	-1.69E-02	2.40E-03	2.87E-02	-2.13E-01	-3.32E-01	-1.80E-03	-2.59E-02	-9.75E-02
C <sub>7</sub>	12	$i12$	-7.43E-05	-5.35E-05	-1.66E-05	-3.46E-05	-3.38E-05	-2.58E-04	-3.14E-04	-2.14E-04	-1.90E-04	-1.86E-03
		$i12$	-1.64E-03	-7.58E-04	-1.36E-04	-3.95E-04	-2.94E-03	-2.33E-03	-9.26E-03	-5.39E-03	-1.96E-03	-1.61E-02
		$i12$	1.80E-01	1.04E-01	5.06E-02	8.77E-02	1.58E-01	4.36E-01	6.34E-01	5.47E-01	3.03E-01	2.78E+00

PETの熱分解は結合の弱い鎖の末端から起こるが、高温域の熱分解ではエステル結合の切断による環状の中間生成物を生成する。その結果、PETからは多量の環状中間生成物がタールとして発生すると考えられる。

PSの熱分解は、側鎖および主鎖のラジカル切断により進む。その結果、スチレン(styrene)の単量体、二量体、三量体および四量体を生成する。そのことから、1220 Kの2次熱分解後も生成物中に多量のタールが測定されたと考えられる。

770 Kの1次熱分解と1220 K, 15秒の2次熱分解で発生したタール量を比較すると、0.13(茶葉)~1(PE)から0.03(紙)~0.55(PS)に減少し、全試料の平均タール量は0.53から0.19へ減少する。

以上、単一試料の熱分解に対して述べたが、実炉を想定した場合、プラスチックは混合した状態で炉内に投入される。その場合、混合による分解生成物への影響が考えられる。しかし、PE, PP, PSの3種類の混合に対しては、個々のプラスチック分解生成物の和として表され、混合されたことにより異なった分解機構が生じて新たな分解成分が生成されることはない。また、他のPET, PVCを混合すると、ガスの収率が向上するとの報告もある。しかし、PET, PVCの割合は一般廃棄物全体の約2.5 wt%であるので、これらの混合による新たな分解生成物があっても全体の熱分解ガス組成に与える影響は小さいと考えられる。

以上述べたように、温度と空間時間の熱分解に与える影響を明らかにした。その結果、一般廃棄物の熱分解特性、タールの減少特性およびタール発生量などを定量化することができた。

### 3.3 一般廃棄物から得られる熱分解ガス組成推算式

以上の実験より、一般廃棄物の*i*種組成から得られる*j*種ガス量*G<sub>ij</sub>*は、熱分解温度*T*、ガス空間時間*t*を用いて次式で表すことができる。

$$G_{ij} = ijT + ij t + ij \dots\dots\dots$$

ここに、*ij*, *ij*, *ij* は重回帰式の係数である。代表的な*i* = 1 ~ 10, *j* = 1 ~ 4 および12の値を、表2に示す。さらに、個々の一般廃棄物組成を熱分解して得られる*j*種ガスの総量*G<sub>j</sub>*、ガスの総量*G<sub>MSW</sub>*はそれぞれ次式で得られる。

$$G_j = \sum_i w_i g_{ij} \dots\dots\dots$$

$$G_{MSW} = \sum_i w_i g_{ij} \dots\dots\dots$$

*w<sub>i</sub>*は一般廃棄物組成*i*種の重量比である。したがって、一般廃棄物の組成、ガス化炉の運転温度およびガスの空間時間によって得られるガス種・ガス量は式、式および式で算出することができる。

## 4 むすび

多様な組成で構成される一般廃棄物を、その80 wt%以上を占める茶葉、綿、紙(事務用紙)、木材(杉)、魚肉(鰯)およびプラスチック(PE, PP, PET, PVC, PS)で代表させた。これら試料を用いて、770 Kにおける1次熱分解にて得られる分解成分、さらにその分解成分を1020 ~ 1220 K, 5 ~ 15秒の範囲で2次熱分解させて得られる成分および発生量を調べた。その結果、以下のことが明らかとなった。

1次熱分解ガスを熱分解温度1020 ~ 1220 K, 分解時間5 ~ 15秒の範囲で2次熱分解すると、タール量は0.13(茶葉)~1(PE)から0.03(紙)~0.55(PS)に減少する。

一般廃棄物を熱分解して得られるガスの組成、発生量が明らかになり、ガス化炉内の温度および空間時間の関数として表すことができる。

### (参考文献)

Tang, M. M. and R. Bacon. Carbonization of Cellulose Fibers - Low Temperature Pyrolysis. Carbon, 12, p.211-220, 1984.

Yurugi, T, H. Iwata and M. Okuma. Thermal Degradation of Cellulose. Journal of the Chemical Society of Japan, p.733-737, 1985.

James, C., W. Chien and J. K. Y. Kiang. Pyrolysis and Oxidative Pyrolysis of Polypropylene. Advanced Chemistry Ser., p.175-197, 1998.

Zimmerman, H. and N. T. Kim. Investigation on Thermal and Hydrolytic Degradation of Poly(Ethylene Terephthalate). Polymer Engineering and Science, 20, p.680-683, 2002.

Amiya, S., M. Uno, K. Matsumura and T. Taniguchi. Thermal Degradation of Poly(ethylene terephthalate). Polymer Preprints, Japan, 40, p.2668-2690, 1991.

Westerhout, R. W., J. Waadwers, J. A. M. Kuipers and W. P. M. van Swaaij. Kinetics of the Low-Temperature Pyrolysis of Polyethylene, Polypropene, and Polystyrene Modeling, Experimental Determination, and Comparison with Literature Models and Data. Ind. Eng. Chem. Res., 36 (6) p.1955-1964, 1997.

Murata, K and M. Akimoto. Thermal Degradation of Mixed Polymer. Journal of the Chemical Society of Japan, p.774-781, 1979.

Williams, P. T. and E. A. Williams. Interaction of Plastics in Mixed-Plastics Pyrolysis. Energy and Fuels, 13, p.188-196, 1998.

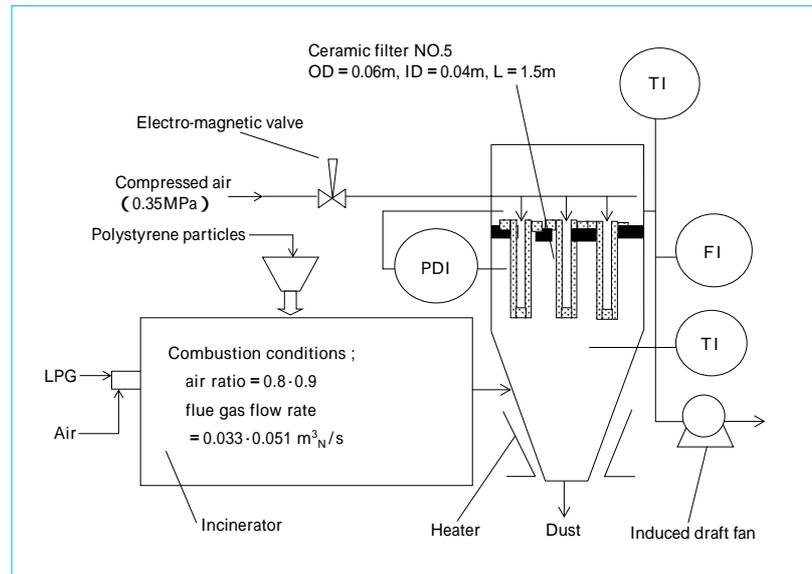
# 熱分解ガス中油分の捕集・再生特性

Characteristics of Collection and Dislodgment of Adhesive Gaseous Hydrocarbons by Ceramic Filter

小川 彰一\* 末広 文一\* 木嶋 敬昌\*\* 飯尾 良夫\*\*  
 Shoichi OGAWA Fumikazu SUEHIRO Takamasa KISHIMA Yoshio IIO

パイロット実験装置の概要

Schematic diagram of pilot plant for ceramic filter test



高温における固体粒子の捕集にはセラミックフィルタが、また、その再生にはパルスジェット法が用いられている。しかし、処理ガス中にガス状炭化水素が存在する場合、炭化水素（油分）が固化することから、セラミックフィルタに捕集した油分がパルスジェット法によって脱着するか否かは明らかではない。

本報では、510～780 Kで発生させたポリスチレン熱分解ガス中の炭化水素ガスの捕集および脱着特性に関して検討した。フィルタに捕集された炭化水素質量が圧力損失に与える影響を測定し、熱的およびパルスジェットによる再生法について調べた。その結果、フィルタで捕集した炭化水素を脱着させるにはパルスジェット法では難しく、780 Kより高い温度で7200秒以上の熱処理が必要であることが明らかとなった。

The ceramic filter has been used usually to collect the solid particles in the high temperature surroundings. But it is not almost clear if hydrocarbons adhered in the ceramic filter are dislodged or not by the method of pressurized air/inert gas injection. The experiments have been carried on to investigate about the characteristics of collection and dislodgment of adhesive hydrocarbons in polystyrene-decomposed gas at 510-780 K. The effect of adhesive hydrocarbons weight in the filter on pressure loss is analyzed, and regeneration methods by thermal treatment and pressurized inert gas injection are examined. This investigation tends to conclude that it is impossible to dislodge the adhered hydrocarbons in ceramic filter by the method of pressurized gas injection, but the thermal treatment above the temperature of 780 K during more than 7200 s makes adhesive hydrocarbons dislodge.

キーワード：熱分解ガス，炭化水素，セラミックフィルタ，パルスジェット

## 1 まえがき

有機物をガス化して得られたCO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>などを含む可燃性ガスをボイラの燃料などに利用するガス化プロセスが開発され、注目されている。本プロセスにおいては、ガス化炉で発生した可燃性ガスは灰およびチャーなどを含むことから、ガス燃料として利用する時にはこれら固体粒子をフィルタなどであらかじめ除去し、ガスを精製する必要がある。

しかし、有機物にプラスチックが含まれた場合、プラスチックの熱分解過程において発生する炭化水素が可燃性ガス中に含まれる。炭化水素の沸点は470～680 K程度に広

く分布することから、ガス温度によっては凝縮や固化を起こす。さらに、微細なフィルタ目開きによってはKelvin効果により蒸気圧が変化することから、フィルタの逆洗特性および圧力損失特性に複雑な影響を与えられられる。

したがって、払落しが十分可能なチャーや灰分の固体粒子の他に、前記の沸点の炭化水素（油分）を含むガスに対しては、従来の逆洗法に加えて加熱法によるフィルタの再生効果をあらかじめ検討する必要がある。

本研究では、セラミックフィルタに油分を含むガスを流通させた場合に起こる圧力損失の増加特性および高压空気による逆洗効果と加熱による再生効果について検討を行った。

表1 セラミックフィルタの性状  
Physical properties of ceramic filters

Test piece	Material	Shape of component	Dimension of component	Density	Porosity	Weight per surface area	Thickness	Dimension of test piece	Shape
-	-	-	$\mu\text{m}$	$\text{kg}/\text{m}^3$	-	$\text{kg}/\text{m}^2$	m	m	-
Filter NO.1	SiO <sub>2</sub>	Particle	10	1910	0.28	38.2	0.02	W = 0.2, D = 0.2	Plate
Filter NO.2	SiO <sub>2</sub>	Particle	10 + 1	1950	0.26	39.0	0.02	W = 0.2, D = 0.2	Plate
Filter NO.3	SiO <sub>2</sub>	Particle	10 + 1 + 0.1	1960	0.26	39.2	0.02	W = 0.2, D = 0.2	Plate
Filter NO.4	SiO <sub>2</sub> (57wt%) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (43wt%)	Fiber	17	400	0.86	3.4	0.01	OD = 0.06, ID = 0.04, L = 0.1	Tubular
Filter NO.5	SiO <sub>2</sub> (57wt%) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (43wt%)	Fiber	17	400	0.86	3.4	0.01	OD = 0.06, ID = 0.04, L = 0.5	Tubular

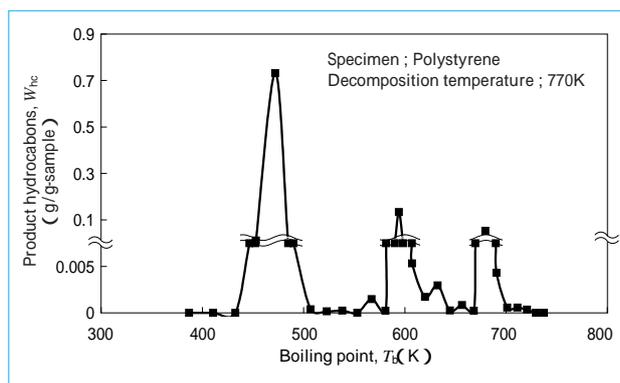


図1 炭化水素（油分）の沸点別発生量  
Boiling points distribution for product hydrocarbons

## 2 実験

### 2.1 プラスチック試料およびフィルタ試験片

本研究では下記のポリスチレン試料を熱分解し、得られた油分を含む熱分解ガスをセラミックフィルタ試験片に通して以下の実験を行った。

#### 2.1.1 ポリスチレン試料

ポリスチレンは市販品であるエー・アンド・エム スチレン株式会社製の A & M ポリスチレン GPPS・HF77 (3 (直径) × 3 (長さ) mm の円柱状粒子) を用いた。平均分子量は約 90000 g/mol である。また、別途実施したポリスチレンの 770 K における熱分解生成成分の測定では H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> などは測定されず、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> が最も沸点の低い炭化水素である。炭化水素の沸点別発生量を、図 1 に示す。主に発生する炭化水素の沸点は、約 470, 590 および 680 K である。

#### 2.1.2 セラミックフィルタ試験片

実験に供したセラミックフィルタの性状を、表 1 に示す。フィルタ NO.1, NO.2 および NO.3 はいずれも平板形状で、ふるいの目開きに相当する粒子間の空隙分布（目開き）を調整したフィルタである。フィルタ NO.5 は繊維状の円筒型（0.06 (外径) × 0.04 (内径) m, 長さ L = 1.5 m) の市販セラミックフィルタ、NO.4 は NO.5 を L = 0.1 m に切断した試験片である。

#### 2.2 実験装置および方法

実験では、フィルタ NO.1, NO.2 および NO.3 の小型試験片を用いて目開きと目詰まりの関係、フィルタ NO.4 を用い

て油分付着量と圧力損失（後出、付着油分による圧力損失とを言う）の関係、加熱によるフィルタの再生効果などの負荷・再生実験と、フィルタ NO.5 の円筒型実用品を用いて高圧空気による逆洗効果および加熱再生効果を調べるパイロットプラント負荷・再生実験を行った。

#### 2.2.1 小型試験片実験

小型試験片による負荷・再生実験においては、あらかじめ粒子状ポリスチレンを約 0.5 kg 充填した容器（0.135 (直径) × 0.2 (高さ) m) を外部より電気ヒータにて約 510 K に加熱し、容器上部に固定したセラミックフィルタ試験片にポリスチレン熱分解ガスを通過させて、フィルタの油分付着量とフィルタ目開きの関係を調べた。このとき、セラミックフィルタの試験片はフィルタ NO.1, NO.2 および NO.3 を順次交換して実験を行った。

#### 2.2.2 パイロットプラント実験

冒頭の図に示すように、パイロットプラント実験装置を、熱風発生炉、ポリスチレン粒子供給装置、集塵装置および誘引ファンより構成した。集塵装置内には円筒型セラミックフィルタ NO.5 を 3 本設置し、フィルタ頂部から高圧空気を噴射して、パルスジェット方式による付着油分の払落し操作が可能となっている。

あらかじめ LPG 燃焼により熱風発生炉内温度を約 570 K に昇温して、定常状態到達を確認した後、ポリスチレン粒子を  $8.3 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$  (300 g/h) の供給速度で炉内に供給して熱分解させ、その熱分解ガスを含む LPG 燃焼排ガス全量を集塵装置のフィルタ部に通過させた。この時のガス流量は  $0.033 \sim 0.051 \text{ m}^3/\text{s}$ , る過速度は約  $0.083 \sim 0.125 \text{ m/s}$  (フィルタ NO.5 を 3 本使用) である。

集塵装置内温度を約 570 K に保持しながら、ポリスチレン積算供給量がフィルタ単位表面積当たり（外表面積基準）0.12, 0.63, 0.98 および 1.18  $\text{kg}/\text{m}^2$  にそれぞれ達したときに、フィルタ頂部よりパルスジェット方式により払落し操作（パルス空気圧 0.35 MPa, 噴射時間 0.1 秒, 噴射回数 10 回。後出、本件件をパルスジェットの条件）を行い、払落し前後のフィルタ圧力損失を測定して払落し効果を調べた。

## 3 結果および考察

### 3.1 小型試験片負荷・再生実験

フィルタは粒子状物質を物理的に捕捉する集塵メディアで

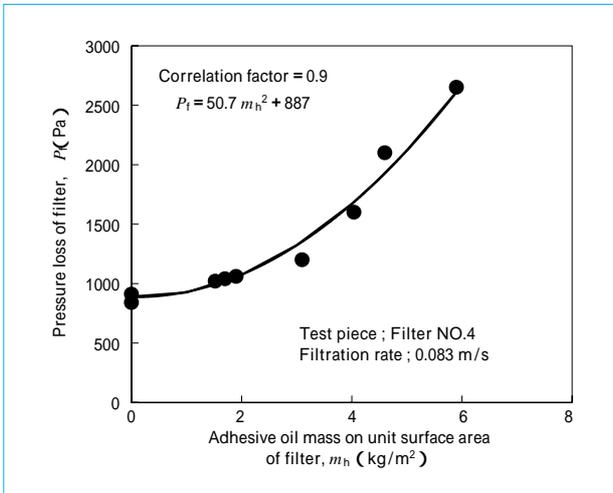


図2 付着油分質量と圧力損失の関係  
Effect of adhesive oil mass on pressure loss of filter

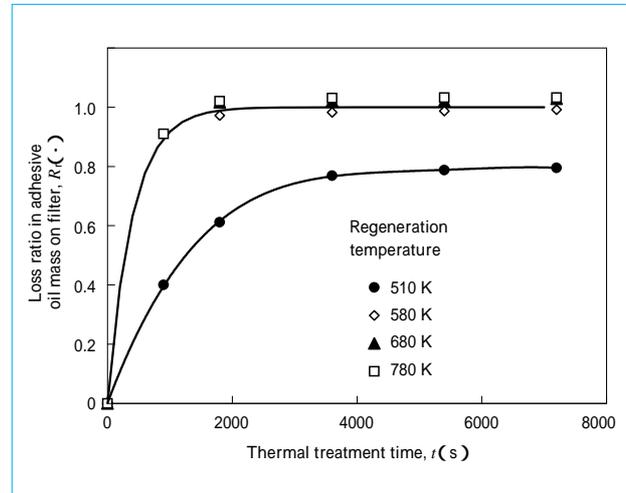


図3 再生処理温度および時間における再生率  
Effects of thermal treatment temperature and time on loss ratio in adhesive oil mass on filter

あることから、フィルタの目開き、厚さにより捕集可能な物質の粒子径が異なる。そこで、まず、ポリスチレン熱分解ガス中の油分に対して、目開きの影響を調べるべく、平板セラミックフィルタNO.1, NO.2およびNO.3を使用してポリスチレン熱分解ガスを約11000秒通気した。その結果、フィルタに付着した油分量をフィルタに流入した油分量で除したフィルタ付着率は、フィルタNO.1が15.6 wt%, NO.2が20.5 wt%であったのに対して、粒子径0.1 μmを塗布したフィルタNO.3は1800秒以下の短い通気時間で閉塞した。このことから、付着率は目開きの影響を受けていることが分かる。したがって、ポリスチレンの熱分解ガスに対しては、目開きは1 μmと10 μmおよび10 μm以上の粒子で構成したフィルタの方が実用的であると言える。

そこで、繊維状円筒型セラミックフィルタの市販品の中から、約17 μm（顕微鏡観察）繊維で構成したフィルタNO.4を選定して、通気実験を行った。その結果、通気時間とともに油分付着量はほぼ単調に増加し、11000秒通気し、油分を約5.9 kg/m<sup>2</sup>付着させてもフィルタNO.1およびNO.2と同様に閉塞は起こらなかった。

また、フィルタ単位面積あたりに付着した油分量  $m_h$  (kg/m<sup>2</sup>) とフィルタの圧力損失  $P_f$  (Pa) の関係は、図2に示すように相関係数は0.9となり、強い相関があり、油分付着が圧力損失の主因であることが分かる。また、両者の関係は式に示す回帰式で表すことができる。

ガス流速  $u = 0.083$  (m/s) にて  

$$P_f = 50.7m_h^2 + 887 \dots\dots\dots$$

式から分かるように、固体粒子における堆積粉塵負荷と圧力損失の関係と同じ関数形の関係式が、油分の付着に関しても得られた。

一方、付着試験後に試験片を510, 580, 680および780 Kにてそれぞれ熱処理したときの処理時間  $t_r$  と再生率  $R_r$  の関係を、図3に示す。再生率  $R_r$  は付着質量  $m_h$  を用いて、

$$R_r = (m_{h2} - m_h(t_r)) / (m_{h2} - m_{h0})$$

ここで  $m_{h2}$ : 終了時間  $m_{h0}$ : 開始時間

で定義した。  
 図示したように、再生時間を長くすると油分付着量は減少し、 $R_r$  は上昇するが再生温度510 Kでは7200秒処理しても  $R_r$  は0.8を超えない。一方、580 K以上の熱処理を行うと  $R_r$  は1800秒程度でほぼ1に達し、付着質量変化でみると付着開始前の状態まで再生されることが分かる。

しかし、各温度における7200秒処理後のフィルタ表面観察によると680 K以下では油分付着によりフィルタは褐色に変色しており、再生には約780 Kの温度が必要と考えられる。また、適切な再生時間を求めるべく、処理時間と表面性状の関係を調べた。780 Kにおいて0, 600, 1200, 1800, 3600, 5400および7200秒処理したときの表面を観察すると、5400秒処理した後も褐色の変色が観察され、7200秒後で表面色は未使用品とほぼ同じとなる。このことから、再生には約780 K, 7200秒が必要であることが分かる。

3.2 パイロットプラント実験

次に、物理性状がフィルタNO.4と同じ円筒型セラミックフィルタNO.5 (0.06 (外径) × 0.04 (内径) × 1.5 (長さ) m) を用いて、冒頭の図に示す装置により払落し実験を行った。

図4は、570 Kにおいてポリスチレンを各供給積算量  $M_p$  まで供給した後、パルスジェット方式 (パルス空気圧0.35 MPa, 噴射時間0.1秒, 噴射回数10回) にて油分の払落し操作を行い、払落し前後の圧力損失より払落し効率を式の定義式で算出してそれぞれ示したものである。

$$= (P_{f2} - P_{f1}) / (P_{f2} - P_{f0}) \dots\dots\dots$$

図4に示すように、払落し効率  $\eta$  は  $M_p$  を増加させるに従い低下し、 $M_p = 0.98$  および  $1.18$  kg/m<sup>2</sup> では、 $\eta = 0.55 \sim 0.6$  の範囲まで減少した。すなわち、570 Kにおけるパルスジェット方式では初期の圧力損失値まで回復させるのは難しいと考えられる。

図5は、570 Kにおいて捕集試験を行い、さらにパルスジ

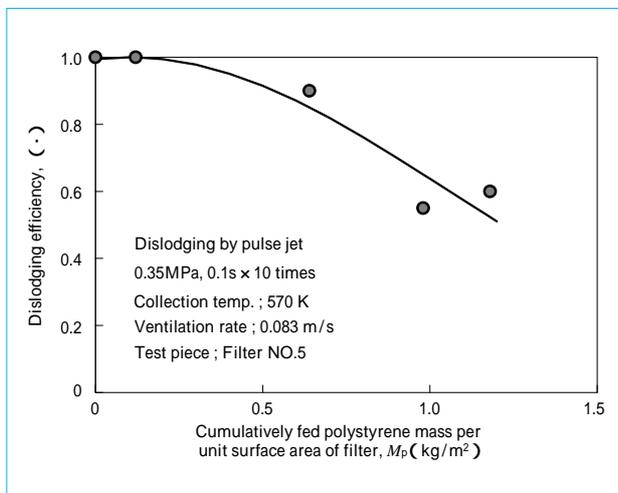


図4 付着油分のパルスジェット法による再生効果  
Dependency of dislodging efficiency on cumulative fed polystyrene

ジェット方式で払落し操作を行った後に、ろ過速度0.083 m/s (5 m/min) における圧力損失を示したものである。圧力損失はポリスチレン供給積算量とともに上昇し、付着前の829 Paから付着量1.18 kg/m<sup>2</sup>において1092 Paに上昇する。これは、この温度域ではフィルタに付着した油分が払落し操作によって完全には払い落とされなかったことが要因と考えられる。また、720 Kおよび780 Kにて7200 秒熱処理を行った場合は、圧力損失が減少し、ポリスチレン供給前の値まで低下している。この結果は、図3に示した加熱再生操作において、油分付着質量でみた再生率 $R_f$ が1に達し、フィルタ表面の変色が消えてフィルタが再生された条件と一致する。したがって、圧力損失が回復したのはフィルタ内部が高温となり、フィルタに付着した油分が酸化し、除去されたことによると考えられる。しかし、ポリスチレン熱分解ガス主成分の沸点は最高約680 Kであり、再生される温度より低い。これは、目開きによって沸点が変化するKelvin効果などによると考えられる。そのことから、フィルタNO.5に対しては沸点より約100 K高い再生温度が必要となる。

以上より、熱分解ガス中の油分を捕集する操作においては、捕集した灰やチャーの固体粒子の払落し操作と同一のジェットパルス方式(パルス空気圧0.35 MPa, 噴射時間0.1 秒, 噴射回数10回)では、油分の払落し効果はない。しかし、本実験で示したように、市販のフィルタNO.5では圧力損失が上昇後、780 K以上、7200 秒の加熱再生操作を行うことにより、圧力損失は回復して安定な連続運転が可能であることが分かる。また、再生条件より、780 K以上で捕集操作を行えば油分の付着はなく、圧力損失が増加せずに安定な運転が可能であると考えられる。この温度に適用できるフィルタとしてセラミック製は有効であると言える。

#### 4 むすび

セラミックフィルタ(繊維径約17 μm, 0.04(内径)×0.06(外径) m)を使用して炭化水素成分(最高沸点約680 K)を含むポリスチレンの熱分解ガスの570 K捕集(付着)特性とパルスジェット方式(パルス空気圧0.35 MPa, 噴射時間0.1 秒,

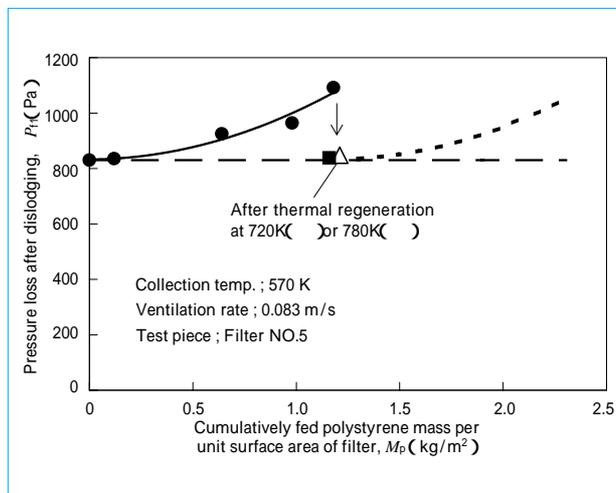


図5 ポリスチレン供給積算量と圧力損失の関係  
Effect of cumulatively fed mass on pressure loss

噴射回数10回)による払落し実験および510~780 K, 0~7200 秒による加熱再生実験を行い、フィルタの運転・再生条件を検討した結果、以下のことが明らかとなった。

油分付着の払落しに対してはジェットパルス方式は有効ではない。しかし、ポリスチレンを熱分解して得られた油分に対しては、780 K, 7200 秒の加熱再生を行えば初期の圧力損失および表面性状に回復する。

フィルタNO.5に対しては、再生温度として熱分解ガス中の炭化水素沸点より約100 K高い温度が必要である。

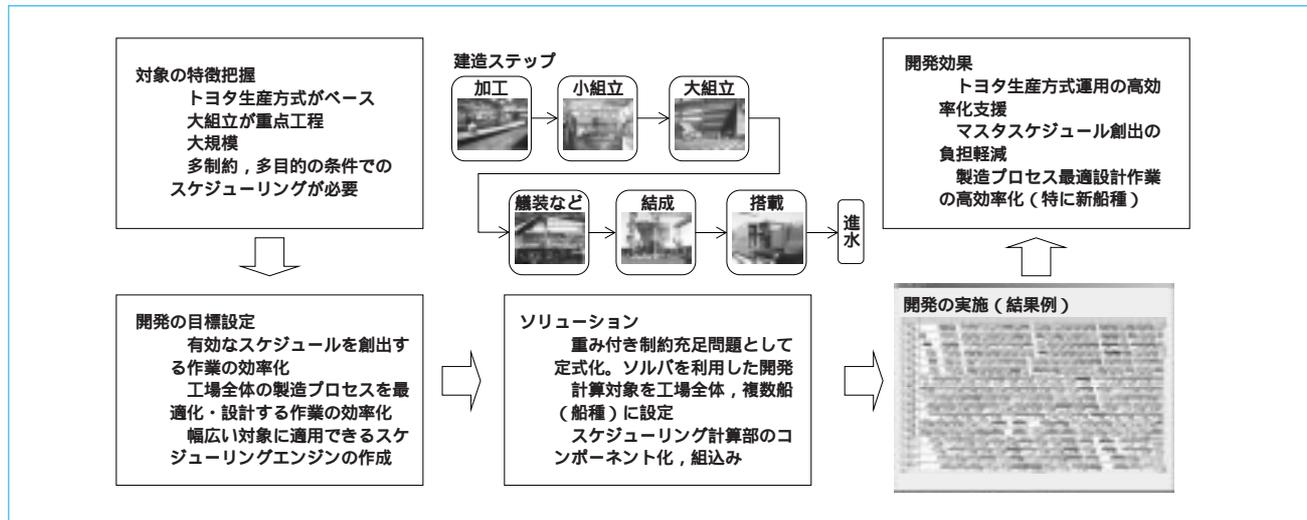
#### (参考文献)

- Ogawa, S., H. Sato, Y. Bando and M. Nakamura. Gasification Characteristics of Municipal Solid Waste in the 20 t/d Gasifier. Waste Management and Environment 2002, September 4-6, 2002 (Cadiz, Spain).
- 小川彰一, 鈴木茂, 坂東芳行, 中村正秋. 循環流動層型ガス化炉における都市ごみガス化特性. 日本エネルギー学会誌, 82, p.151~157, 2003.
- Umemiya, S., H. Yoshitake, T. Kimura, J. C. Bi and T. Kojima. Analysis of Local Reactions in Continuous Fluidized Bed Coal Gasifier. 7th International Conference on Coal Science Proceedings, p.193~196, 1996.
- Richard, C.W. Recycling of Mixed Plastics by the Texaco Gasification Process. Chemical Aspects of Plastics Recycling, p.199~213, 1997.
- Westerhout, R. W. J., J. Waanders, J. A. M. Kuipers and P. M. van Swaaij. Kinetics of the Low-Temperature Pyrolysis of Polyethylene, Polypropylene, and Polystyrene Modeling, Experimental Determination and Comparison with Literature Models and Data. Industrial Engineering Chemistry Reviews, 36, p.1955~1964, 1997.
- Williams, P. T. and E. A. Williams. Interaction of Plastics in Mixed-Plastics Pyrolysis. Energy and Fuels, 13, p.188~196, 1999.
- Clemens, A. T., F. D. Leonard and T. W. Matheson. The Effect of Calcium on the Rate and Products of Steam Gasification of Char from Low Rank Coal. Fuel, 77, p.1017~1020, 1998.
- Williams, P. T. and A. W. Elizabeth. Composition of Products from the Pyrolysis of a Polypropylene/Polystyrene Mixture. Proc. of the Intern. Symp. of Feedstock Recycling Plastics, p.113~117, 1999.

# 制約充足手法を用いた造船日程の最適化

## Shipbuilding Scheduling with Weighted Constraint Satisfaction Problem Approach

西村 卓也\* 仲摩 行弘\* 松田 正康\*\* 牧野 有紀\*\*  
 Takuya NISHIMURA Yukihiro NAKAMA Masayasu MATSUDA Yuki MAKINO



SHI-ME造船日程計画システムの開発  
 Circumstances for SHI-ME shipbuilding scheduling system

造船業にとって、生産の高効率化は常に重点課題である。この観点から、幾つかの企業では、トヨタ生産方式のような生産革新活動が導入・推進され、効果をあげてきた。ところが生産計画に関しては、いまだに人的パワーに頼らざるを得ない状況である。それは、生産計画の際に必要な「ノウハウに基づく人間系思考」が高度に複雑であり、適切な計算機スケジューリングシステムがないことによる。

本報で提案する手法は、この人間系思考によるスケジュール生成を、重み付き制約充足問題 (Weighted Constraint Satisfaction Problem WCSP) として定式化し、商用WCSPソルバを用いて解を導出することで実現する。この手法に基づいて、トヨタ流の生産革新活動を推進する住友重機械マリンエンジニアリング株式会社の造船工程によく適合するシステムを設計し、開発した。このシステムの導入により、有効な日程計画を効率的に創出できるようになった。

The streamlining of the construction process is an imminent problem in the shipbuilding industry. From that point of view, some companies have started to introduce production optimizing approach like Toyota Production System. However, as for the production scheduling, the dependency level on the undocumented human experiences remain still very high. It has been due to the difficulties stemming from the complexity of human decision processes. In this paper, we propose to formulate the concerned problem with Weighted Constraint Satisfaction Problem approach. With the approach especially adapted to the bottleneck processes, we have confirmed the improvement of the existing scheduling processes.

キーワード：組合せ最適化問題，重み付き制約充足問題，造船工程，日程計画

### 1 まえがき

スケジューリングとは、端的に言えば、いつ、どの設備で、誰が、どの作業を行うかを最適に決めることである。製造業にとって、スケジューリングは製造コストに直結する重要課題である。特に造船業については、資材物量・生産に携わる作業人数などが膨大であることから、スケジューリングは最重要課題と言える。

住友重機械マリンエンジニアリング株式会社 (SHI-ME) はタンカー (図1) を主力製品に持つ造船会社であり、大規模な造船工場を所有する。SHI-MEでは、生産性向上を目指して2003年度よりトヨタ生産方式 (Toyota Production System TPS) を導入し、工場系を中心に展開をはかってきた。この取組みの皮切りは大組立工場であったが、この工場は建造ステップの中心に位置するとともに生産負荷が大きいので、TPS導入成功の鍵を握ると言える。TPS導入工程で



図1 アフラマックスタンカー  
AFRA-Max tanker

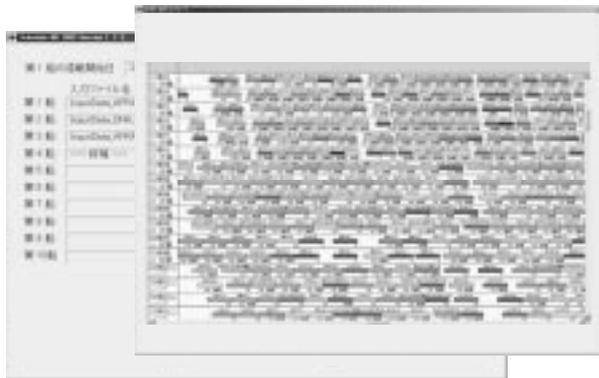


図2 造船日程計画システム  
Example of shipbuilding scheduling system

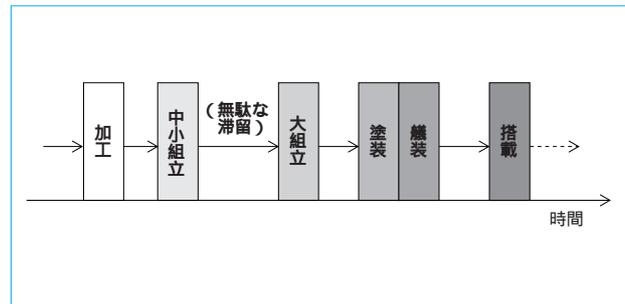


図3 標準的な造船ステップ  
Schematic of standard shipbuilding process

は、各ブロックを「1個」ずつ「タクト」で組み立てるといふ、いわゆる「1個づくりのタクト生産」を実施する。

SHI-MEは、造船工場全体のブロックの動きなどをさらに可視化し、整流化し、コントロールしたいと考えた。それを達成するべく、マスタスケジュールの精緻化に重点を置いた。ここで、マスタスケジュール創出は、生産計画スタッフにとって大きな負荷であった。なぜなら、工場は多くの生産制約やスケジュール評価指標を持っており、それら全てを考慮しつつ「総合的に思考」しなければ、最適なスケジュールを創出できないからである。それ故、この作業の大部分は、熟練した生産計画スタッフの腕に委ねられていた。

上記課題を解決するべく、筆者らはTPSをベースに持つこの造船工場に適合するスケジューリングシステムの開発をはかった。その初期段階にて、造船工場の構造分析を行った。すると、組合せ最適化の研究対象の一つ、重み付き制約充足問題 (Weighted Constraint Satisfaction Problem WCSP) としての定式化が、よく適合することが分かった。このアプローチの利点は、有効な商用WCSPソルバが近年発売されており、システム開発が容易なことである。開発に当たり、他のスケジューリング対象への適用を視野に入れ、まず商用ソルバを用いて汎用的なスケジューリングエンジンを開発した。続いてこのエンジンを核として、スケジューリングシステムを完成させた。

本報では、開発したシステム(図2)およびエンジンについて、設計の思想を中心に説明する。

## 2 システム開発の背景

### 2.1 造船業におけるスケジューリングの現状

造船業においては一般に、スケジュール導出は計算機だけで完結させることはできない。むしろ熟練計画スタッフの役割が重要視されてきた。そのことは、造船業に対する組合せ最適化手法に基づく事例研究が少ないことからもうかがえる。

造船業に適合する計算機スケジューリング開発には、次の難しさがあると考えられる。

「総合的な思考」能力が必要な点。

この「総合的思考」のノウハウが暗黙知化している点。

適切なツールが不足している点、つまり、ノウハウを効率的に計算機プログラム化する手段として有用なソルバツールが市場にほとんどない点。

一方で、人的パワーによるスケジューリングも多くの問題を抱えている。例えば、新船種の建造に先立って最適な製造プロセスを一つに絞り込みたい場合に、適切なシステムの力を借りずに人的パワーで対応するのは困難である。

以上の理由から、「総合的思考」を高いレベルで実現するスケジューリングエンジンは極めて有用であると考えられる。これは、組立型製造業全般に言えると考えられる。

### 2.2 SHI-ME 造船工場の構造

本節では、SHI-MEの造船工場の構造について、スケジューリングシステム開発に関連する特徴を中心に説明する。

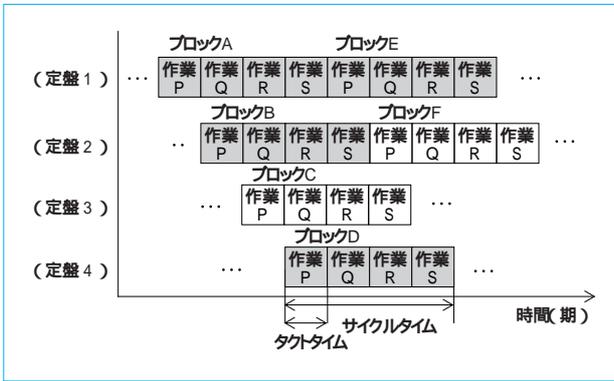


図4 1個づくりのタクト生産  
Schematic of standard policy for launching and disposition of operations

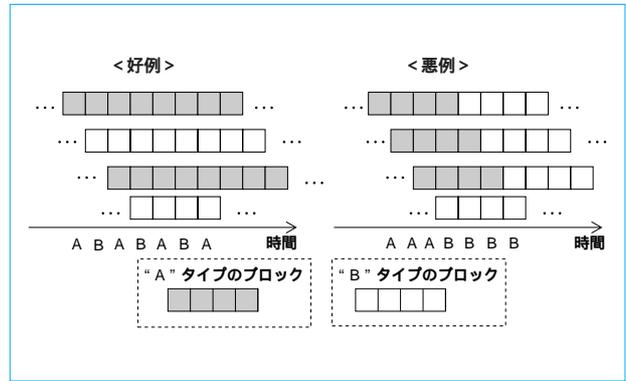


図5 順建パターン 好例と悪例  
Examples of balanced and imbalanced launching orders

2.2.1 所与の新船引渡し日

造船業においては、新船引渡し日が数年先まで確定している。

2.2.2 一般的な船舶建造プロセスの適用(図3)

概略的には、鋼材は「切断・曲げ加工」の後、「中小組立」、「大組立」が施され、ブロックとなり、「艦装」「塗装」を行い、一部は「結成」にて一旦結合され、最終的にドックにて、全ブロックが「搭載」され、機器類のプラントアップが施されて、船としての最終形に仕上がっていく。

本報では、ブロック組立ラインのような1作業単位を「作業ライン」と書く。作業ラインの総数は70程度であり、各作業ラインは1ないし数十の作業場(例えば定盤)を持つ。

2.2.3 順序付け可能な作業ライン

SHI・ME造船工場に対しては、いわゆる「トポロジカルソート」が適用できる。つまり、各作業ラインに、搭載に近いほうが必ず小さな値であるような識別ラベルを付与可能である。

2.2.4 ボトルネックの存在

造船業全般ではなくSHI・MEに限ることであるが、大組立工場がTPS成功の鍵をにぎる重点工場という意味でも、作業負荷の意味でも、ボトルネックである。

2.2.5 一個づくりのタクト生産の実施(図4)

TPSを導入した各ラインでは、各ブロックは一定のタクトピッチで投入され、同一の工期で処理される。(いわゆる「タクト生産」であり、設定タクトに対する実績は「サイクルタイム」と呼ばれる)ここで各処理の含む段階的な小工程は、タクトピッチごとに区切られている。

2.2.6 順建パターン化への要求(図5)

各工程においては、前工程・後工程の作業のバランスを整え、全体を整流化することを目的として、最適なブロック組立パターンを基準に生産計画に取り組む。

2.2.7 新船種対応の必要性

新船種の生産においては、最適な製造プロセス(例えばブロックフロー)の設計が必要となる。適切なシステムを開発し、シミュレータとして利用できれば、この最適設計作業が効率化できる。

2.2.8 解くべき問題の規模の大きさ

生産対象は大型であり、総作業数が多い。さらに、各工程

では常時複数隻のブロックが混在することから、数隻を併せて計算する必要がある。つまり、スケジューリング計算時の問題規模が巨大であり、したがって、良い解を探し出すことが困難である。この特徴は、システム開発の困難さに結びつく。

3 開発の狙いと最適性の評価指標

開発すべきシステムの狙いは、次の2点である。

熟練計画スタッフを満足させられるような精緻なマスタスケジュールを創出すること。

複数船・船種混載時の造船工場全体を対象とする、製造プロセス最適設計を目的としたシミュレータ利用が可能なこと。

上記を詳しく述べると、スケジュールの最適性の評価指標は熟練計画スタッフの満足度である。筆者らは、次の評価指標をできるだけ満たすようなスケジュールであれば、満足を得られると考える。

後工程要求日にジャストインであること。

1個づくりのタクト生産方式(図4)に従うこと。

ブロックの順建パターン(図5)に従うこと。

ブロック投入順序と搭載の順序との整合が取れていること。

なお、「後工程要求日にジャストインであること」のみを評価指標とすることも可能とした。非ボトルネックの作業ラインであれば、このように設定する場合もある。

4 スケジューリングシステムの設計

2.2節で述べたSHI・ME造船工場の特徴のうち、次の点に着目する。

所与の新船引渡し日

順序付け可能な作業ライン

解くべき問題の規模の大きさ

これらの着目点、3節で述べた開発の狙い、ソフトウェア開発の一般的要求から、開発すべきスケジューリングシステムの全体コンセプトを次のように定めた。

作業ラインごとの順次最適化(図6)

全体を一気に解くのではなく、作業ラインごとに解く。

つまり一つの作業ラインに対し、一つのスケジューリング計算問題に対応させ、トポロジカル順序で順次解く。

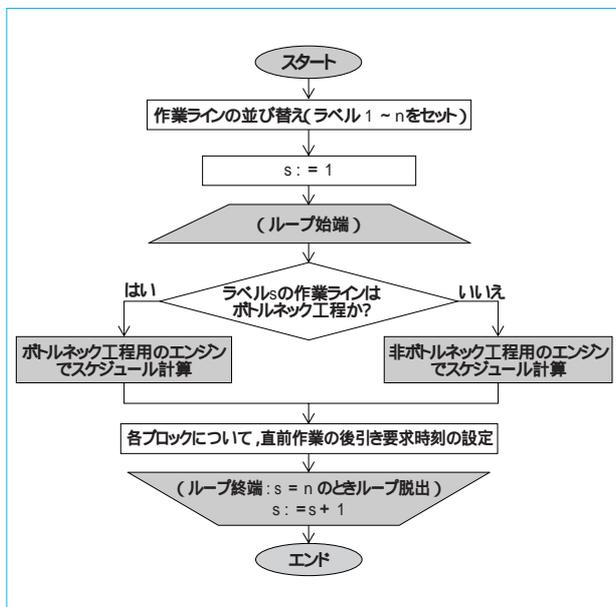


図6 スケジューリングの全体処理手順  
Sequential procedure of scheduling

スケジューリング計算機能のコンポーネント化  
微修正を施したのち、別システムに容易に組み込める  
よう、ボトルネック作業ライン用のスケジューリングエ  
ンジンとその他の作業ライン用のそれとの2種類を開発  
する。

組合せ最適化手法の適用

## 5 スケジューリングエンジンの設計

本章では、まずいくぶん専門的な用語である組合せ最適化  
およびWCSPについて、直感的な表現で簡単に述べる。次に、  
二つのエンジンそれぞれについて、解くべき問題の定式化を  
行う。最後に、解の導出手段について述べる。

最適化とは、解が満たすべき条件および解の評価式が与え  
られたとき、評価値が最小(最大)となるものを探すことを  
指す。このうち組合せ最適化とは、解が組み合わせで表現で  
きるものを指す。例えばスケジューリングに関連する実問題  
の多くは、組合せ最適化問題として定式化できる。組合せ最  
適化問題は、問題規模が大きくなると最適解を実用的な時間  
内で求めることが困難である、という特徴を持つ。したがっ  
て、応用の観点から各種の実用的解法が研究されている。

組合せ最適化の標準問題の一つとして知られるWCSPは、  
多くの制約およびその重要度を示す重みが与えられたとき、  
充足されていない制約の重みの和を最小化する問題である。  
WCSPの適用事例として、看護師の勤務表作成や教師の授業  
時間割作成などがあげられる。

さて、ボトルネックの定式化については、既述した特質に  
従えば、WCSPとしての定式化がふさわしいと考える。つま  
り、第3章で述べた各評価指標について、違反した場合の  
ペナルティを適切に定めておき、違反値の総和をWCSPの枠  
組みで最小化する。

次に、非ボトルネック作業ラインの定式化については、評  
価指標がジャストインであるかどうかの1点のみであるから、  
単一機械(または並列機械)スケジューリング問題の1種

として定式化できる。その表記は、

$$I|p_i; d_i| f(d_i \cdot C_i)$$

(並列の場合は最初の1がP)

である。ここでこの問題についても、「違反ペナルティの設  
定がジャストインの程度についてのみ与えられたWCSP」と  
して再定式化できる。

一般に、組合せ最適化問題の標準問題については、個々の  
特殊性に起因して、他の最適化問題のような「汎用ソルバ」  
はほとんど見当たらない。WCSPについては、NUOPT  
(NUOPTは株式会社数理システムの登録商標)バージョン7  
にこの問題のソルバが組み込まれ、2005年1月に発売され  
たので、筆者らはこれを利用する。このソルバはタブー探索法  
に基づく解法が実装されており、有効性は確認済みである。

## 6 むすび

開発されたシステムは、熟練計画スタッフを満足させら  
れるような精緻なマスタスケジュールを創出する。

開発されたシステムは、複数船・船種混載時の造船工  
場全体を対象とする、製造プロセス最適設計を目的とし  
たシミュレータ利用に有効である。

開発に当たり、まずスケジューリングエンジンを開発  
し、組み込んだ。エンジンは多くの適用対象を持つと考  
えられる。

(参考文献)

Nonobe, K. and Ibaraki, T.. A tabu search approach for the CSP  
(constraint satisfaction problem) as a general problem solver.  
European Journal of Operational Research. vol.106, p.599-623,  
1998.

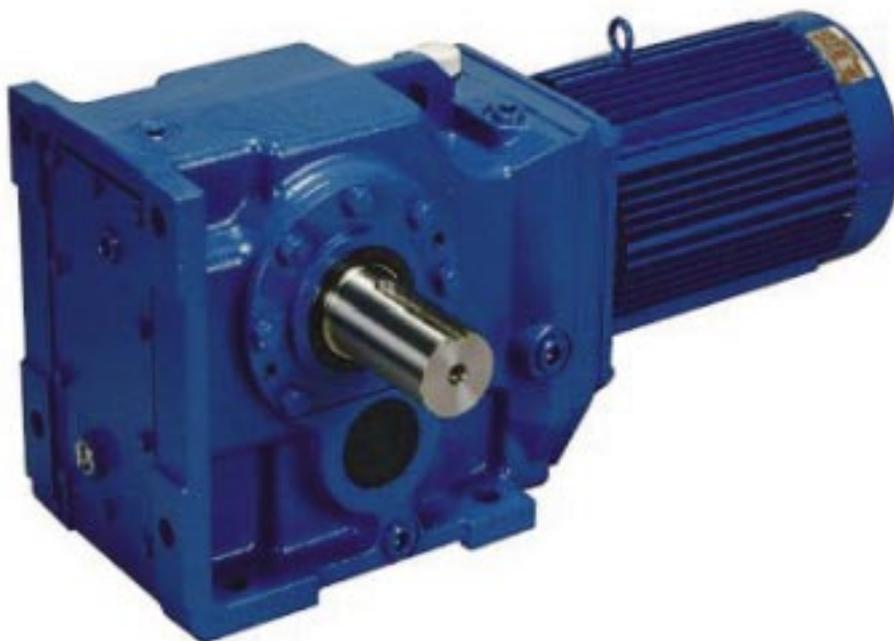
村川治, 谷川文章, 西村真司, 瀧口知義. 造船CIMシステム『すみれ』  
の開発. 住友重機械技報. vol.46, no.136, p.55~58, 1998.

Lee, J.K., Lee, K.J., Park, H.K., Hong, J.S. and Lee, J.S..  
Developing scheduling systems for Daewoo shipbuilding: DAS  
project. European Journal of Operational Research. vol.97, p.380-  
395, 1997.

Brucker, P.. Scheduling Algorithms. 4th edition. Springer,  
Heidelberg, 2004.

# 中型直交ギヤモータライタックス減速機

Medium Size Right Angle Shaft Gearmotor RHYTAX



ライタックス減速機は、ヘリカルギヤとベベルギヤを組み合わせた3段型直交減速機として、1994年に発売開始された機種である。直交減速機が有する軸心方向のコンパクト性、低騒音および高強度などの特徴が評価され、物流装置を初めとする一般産業機械の駆動用として数多くの販売実績を持つ。

本機、新型ライタックス減速機は更なる商品価値の向上を狙い、従来機に改良を加えたものである。一体型ケーシングの採用および部品点数の削減により軽量化をはかり、従来機との取合い寸法を変えずに、取付け方法に合わせたケーシングの専用設計を行うことで、ユーザにおける使い勝手を向上させている。当社における中型直交機種の基幹商品として、2006年5月に上市した。

## 主要仕様

サイズ	72~112 5サイズ
出力トルク	2030 N・m~7610 N・m
減速比範囲	10~120, 170~545 (サイクロ 減速機付き)
軸形式	直交軸
取付け方式	脚取付け, フランジ取付け, シャフトマウント
出力軸	ホロー(中空)軸, ソリッド(中実)軸

## 特長

モータは0.4 kW~45 kW、減速比は10~545比を標準とし、オプションで1850比まで対応可能としていることから、きめ細かく幅広い機種選定が可能である。

モータは3相モータを初めとし、インバータ用モータ、

ブレーキ付きモータおよび屋外形・防爆モータなどの他、海外規格モータにも対応している。

歯車には浸炭焼入れと高精度の機械加工が施され、さらに最適な歯すじ修正を行うことで、高負荷容量化およびコンパクト化を実現している。

ケーシングのFEM解析による応力緩和設計により、定格能力を下げることなく、従来機に対し質量を最大20%低減している。また、FEMを用いた変形解析により、負荷時におけるケーシングの変形を抑え、最適な歯当たりが得られる設計を行っている。

高精度に加工されたヘリカルギヤおよびスパイラルベベルギヤを採用し、低騒音である。

取付け方法に合わせてケーシングの専用設計を行い、無駄のないコンパクトな形状を実現している。

ユニバーサルケーシングを採用し、脚取付け型は水平および垂直などの取付け方向に対して、標準部品での据付けが可能な脚形状となっている。

ホローシャフト型については、クランプカラー付きのオプション化やトルクアームに新たな取付け方式として、アタッチメント方式を追加するなどにより、ユーザの用途に合わせた、より最適な選択が可能となっている。

高減速比(170比以上)には、入力段にサイクロ減速機を直結しコンパクトである。

(PTC事業部 日高 亮)

# モーションコントローラ MC78Lite

## Motion Controller MC78Lite



2004年に、上位制御装置とコンパクトPCI (cPCI) バスに、接続可能なMC78を開発・製品化した。MC78で好評を得たサーボ性能・機能を、従来の上位制御システムでも採用したいとの要望にこたえて、MC78のラインナップとして、2005年にスタンドアロン型の6軸モーションコントローラMC78Liteを製品化した。

MC78Liteでは、cPCIバスを装備していない上位PCやPLCと接続することから、DI/DO、イーサネット、USBおよびRS-232Cポートのインターフェースを装備している。また、電源回路を内蔵しており、上位制御システムとは独立した制御コンポーネントとしてシステムを構築できる。

また、原点リミットセンサおよびストロークエンドリミットセンサなどを入力する入力ポートとソフトウェアを標準装備しており、本装置だけで原点復帰動作とストロークリミットインタロックが実現できる。

内部制御ソフトウェアは、高い実績を誇るMC-55シリーズの基本アーキテクチャを踏襲した。位置制御および速度制御に加え荷重制御を追加実装したことで、XYステージやロボットのみならず実装機へも適用が可能となった。

高精度制御を実現する制御アルゴリズムとしては、アクティブヨー制御、外乱オブザーバ制御、ローパスフィルタ、ノッチフィルタおよび2次元ピッチ誤差補正機能をMC-55シリーズより継承し、標準搭載した。

また、MC78シリーズでは最新高速RISCプロセッサの採用とバスアーキテクチャの見直しにより、従来機種である

MC-55と比較して約2倍の演算能力を実現している。高速サーボ演算、PVT制御および制振制御など、最新の制御アルゴリズムの実装によって、機械のポテンシャルを最大限に引き出せる。

サーボドライバとのインターフェースには、各社汎用サーボドライバ接続用のアナログ出力・パルス列出力とフルクロードループ用のエンコーダインターフェースを標準搭載している。さらに、高精度用途で定評のある当社製高性能サーボドライバ (SDシリーズ) や当社エアアクチュエータ (エアソニック) との専用デジタルインターフェースを装備しており、用途と性能に応じた柔軟かつ最適なシステムを構築できる。

また、オプションである高精度内挿処理機能 (インターポレータ) を搭載したPP78を併用することにより、リニアスケールの正弦波信号を直接取り込めることから、市場のニーズである「高速」および「高分解能」を両立できる。PP78では内挿処理機能と位置同期トリガ信号出力機能が併用できるので、スキャン動作型の超精密レーザ加工装置やスキャン型超精密検査装置へ適用できる。

以上のシステムを最適に調整・活用するソフトウェアは、好評を得ているMC-55シリーズ用調整ツールをベースにMC78用に機能拡張し、さらに調整および試運転の効率化を実現した。

(メカトロニクス事業部 長谷川諭伴)

## 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,プレストギヤモータ,コン  
パワー遊星歯車減速機, [ 平行軸 ]バラマックス減速機,ヘリカルパ  
ディボックス, [ 直交軸 ]バラマックス減速機,ハイボニック減速機,  
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,バラマックス,パディボックス,ハイボニック  
減速機,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  
ンフロー成形システム,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**

**レーザドリルシステム**　**レーザアニーリングシステム**  
**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**  
**YAG高調波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**　**放射光リング**・AURORA,**放射光ビームライ  
ン**　**成膜装置** : ( 液晶フラットパネル用 )プラズマ薄膜形成シス  
テム　**精密XYステージ**Nanoplaneシリーズ　**リニアモータ**  
Nanoplaneシリーズ　**マイクロマシン**　**エキシマレーザアニ  
ーリングシステム**　**ウエハ研削装置**　**ウエハ洗浄装置**

AURORAおよびNanoplaneは,住友重機械工業株式会社の登録商標です。

**環境施設**

**環境・エネルギー関連プラント** : 都市ごみ焼却施設,リサイクル施  
設,流動層ガス化溶融炉,産業用廃棄物処理施設　**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・CYPRIS,  
**標識化合物合成装置**,**がん治療用陽子サイクロトロン**,**治療照射装置**  
**精密XYステージ**Nanoplaneシリーズ　**リニアモータ**Nanoplane  
シリーズ　**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**

CYPRISおよびNanoplaneは,住友重機械工業株式会社の登録商標です。

### 事業所

<b>本 社</b>	〒141-8686	東京都品川区北品川5丁目9番11号( 住友重機械ビル)	<b>愛媛製造所</b>		
<b>関 西 支 社</b>	〒541-0041	大阪市中央区北浜4丁目7番26号( 住友ビル2号館)	<b>新居浜工場</b>	〒792-8588	<b>愛媛県新居浜市惣開町5番2号</b>
<b>北海道支社</b>	〒060-0042	札幌市中央区大通西8丁目2番地( 住友商事・フカミヤ大通ビル)	<b>西条工場</b>	〒799-1393	<b>愛媛県西条市今在家1501番地</b>
<b>東 北 支 社</b>	〒980-0811	仙台市青葉区一番町3丁目3番16号(オー・エックス芭蕉の辻ビル)	<b>技術開発センター</b>	〒237-8555	<b>神奈川県横須賀市夏島町19番地</b>
<b>中 部 支 社</b>	〒461-0005	名古屋市東区東桜1丁目10番24号( 栄大野ビル)	<b>技術開発センター</b>	〒188-8585	<b>東京都西東京市谷戸町2丁目1番1号</b>
<b>中 国 支 社</b>	〒730-0015	広島市中区橋本町10番10号( 広島インテスビル)	<b>( 田 無 )</b>		
<b>四 国 支 社</b>	〒760-0023	愛媛県新居浜市新田町3丁目4番23号( SESビル)			
<b>九 州 支 社</b>	〒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)			
<b>田無製造所</b>	〒188-8585	東京都西東京市谷戸町2丁目1番1号			
<b>千葉製造所</b>	〒263-0001	千葉市稲毛区長沼原町731番地1			
<b>横須賀製造所</b>	〒237-8555	神奈川県横須賀市夏島町19番地			
<b>名古屋製造所</b>	〒474-8501	愛知県大府市朝日町6丁目1番地			
<b>岡山製造所</b>	〒713-8501	岡山県倉敷市玉島乙島新湊8230番地			

**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**,**動く歩道**

**金属加工機械**

**鍛圧機械** : **フォージングプレス**,**油圧プレス**,**フォージングロール**,  
**超高压発生装置**　**工作機械**　**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** ) ,**シップローダ**,**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**

**船舶海洋**

**船舶** : **油槽船**,**撒積運搬船**,**鉱石運搬船**,**鉱油兼用船**,**コンテナ船**,**自  
動車運搬船**,**LPG船**,**LNG船**,**カーフェリー**,**ラッシュ船**,**作業船**,**大型洋  
式帆船**,**巡視船**,**他**　**海洋構造物** : **海洋石油生産関連構造物**,**浮体式  
防災基地**,**浮体式海釣施設**,**その他海洋構造物**　**海洋開発機器** : **各  
種プイ**,**船用環境機器**

**インフラ整備関連**

**橋梁** : **一般橋**,**長大橋**　**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**　**圧力容器** : **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。

**製紙機械**

**抄紙機**,**ワインダ**,**各種製紙関連設備**

**建設機械**,**産業車輛**

**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**

**その他**

**航空用機器**,**精密鋳鍛造品**,**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。

<b>技 報 編 集 委 員</b>		<b>住 友 重 機 械 技 報</b>		
<b>委 員</b>	<b>渡 辺 哲 郎</b> <b>石 塚 正 之</b> <b>増 田 雅 浩</b> <b>大須賀 浩 幸</b> <b>玉 井 文 次</b> <b>平 田 徹 香</b> <b>高 倉 一 秀</b> <b>西 原 秀 司</b> <b>川 井 浩 生</b> <b>村 野 賢 祐</b> <b>荒 居 祐 基</b> <b>平 塚 善 勝</b>	<b>委 員</b> <b>松 崎 敏 彦</b> <b>小 島 宏 志</b> <b>太 田 朝 也</b> <b>井 辻 孔 康</b> <b>木 村 良 幸</b> <b>土 居 砂 登志</b> <b>久 保 隆</b> <b>古 川 竜 治</b>	<b>第161号 非売品</b> 2006年8月10日印刷　8月20日発行 <b>住友重機械工業株式会社</b> 〒141-8686　東京都品川区北品川5丁目9番11号 <b>( 住友重機械ビル )</b> <b>お問い合わせ電話</b> 横須賀(046)869-2302	<b>発 行</b>
	<b>事務局</b> <b>アシスト</b>	<b>技 術 本 部</b> <b>SNBC</b> 千代田プランニング	<b>発 行 人</b> <b>吉 井 明 彦</b>	
			<b>無断転載・複製を禁ず</b>	