
住友重機械 技報

SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES
TECHNICAL REVIEW

プラスチック機械特集
Special Issue for Plastics Machinery

住友重機械技報 No. 194 2018

プラスチック機械特集

論文・報告	成形に次の先進性をもたらすSEEV-A	羽野勝之	1
	小型射出成形機による型締力0tf成形	徳能竜一	5
技術解説	アップグレーディング, ダウンサイジング SEEV-A-HD	巽 豊	9
	Zero-moldingを利用した最新射出成形機の機能	徳能竜一	11
	住友射出成形機のIoT	羽野勝之	13
	住友射出成形機のソリューション-1 品質管理パッケージ	鈴木啓介	15
	住友射出成形機のソリューション-2 生産完了パッケージ	鈴木啓介	17
	LIM(液状シリコン樹脂成形)パッケージ	木村勇一	19

論文・報告

	くりこみ群分子動力学法を用いた高分子シミュレーション	小林義崇, 市嶋大路	21
	リアルタイム中性子モニタを用いたBNCT用QAシステムの開発	赤堀清崇	25

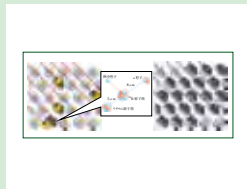
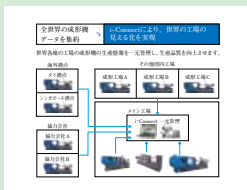
Special Issue for Plastics Machinery

T/PAPERS	SEEV-A to Bring in Next Advancement in Molding	Katsunobu HANO	1
	Mold Clamping Force 0 tf Molding by Small Injection Molding Machine	Ryuichi TOKUNOU	5
T/INVITATIONS	Upgrading, Downsizing SEEV-A-HD	Yutaka TATSUMI	9
	Function of Latest Injection Molding Machine Using Zero-molding	Ruichi TOKUNOU	11
	IoT of Sumitomo Injection Molding Machine	Katsunobu HANO	13
	Solutions of Sumitomo Injection Molding Machine : Quality Management Package	Keisuke SUZUKI	15
	Solutions of Sumitomo Injection Molding Machine : Product End Package	Keisuke SUZUKI	17
	LIM (LSR injection molding) Package	Yuichi KIMURA	19
T / PAPERS	Polymer Simulation by Renormalized Molecular Dynamics Method	Yoshitaka KOBAYASHI, Daiji ICHISHIMA	21
	Development of QA system for BNCT	Kiyotaka AKABORI	25

Special Issue for Plastics Machinery プラスチック機械特集



機種名	型番	生産台数
高圧型	HT-100	100
高圧型	HT-200	200
高圧型	HT-300	300
高圧型	HT-400	400
高圧型	HT-500	500
高圧型	HT-600	600
高圧型	HT-700	700
高圧型	HT-800	800
高圧型	HT-900	900
高圧型	HT-1000	1000



成形に次の先進性をもたらすSEEV-A

SEEV-A to Bring in Next Advancement in Molding

●羽野 勝之*
Katsunobu HANO



SEEV-Aシリーズ外観
Exterior of SEEV-A series

当社の全電動小型射出成形機の最新主力機種であるSEEV-Aシリーズの特長について説明する。快適成形・最適成形をテーマに市場要求である精密で高品質の実現を達成すべく型締装置の面圧分布の向上、平行度の変動量の低減を実現している。条件設定の自動化や省エネルギー機能の拡充、プラテンやフレーム構造の見直しに加え、制振加減速制御を新たに搭載し、高速動作で発生する機械振動の抑制も可能にしている。波形表示や品質管理などの機能向上、監視機能の充実によりスピーディーな立上げを実現させている。また、当社IoT製品であるiii-System(アイキューブシステム)と通信する機能も装備しており、射出成形機の集中管理や、成形工場の稼働状況、生産数および品質状態などのモニタリングを可能とした。

We explain the features of the SEEV-A series, all-electric small injection molding machine, the latest mainstay model of our company. In order to achieve precision and high quality in the plastic molding, which is the underlying market demand tied up with the theme of comfort molding and optimum molding, improvements of surface pressure distribution of the mold clamping device unit and reduction of the variation amount of the parallelism have been realized. In addition to automation of molding condition setting, expansion of function on energy saving and review of platen and frame structure, a novel function of acceleration/deceleration control for vibration damping has been newly installed, which enables also possible to suppress mechanical vibrations generated at high speed operation. Improvements in functions such as waveform display, quality control, and monitoring functions have also been implemented to achieve a speedier start-up. Furthermore, it is equipped with the function to communicate with our IoT product, iii-System, it is possible to centrally manage injection molding machines, and to monitor the operation status of the molding factory, the number of production, and the quality state etc.

1 まえがき

昨今の射出成形機などのプラスチック加工機械を取り巻く環境は、新興国の景気影響に左右され市場動向が不明確である。アジア市場は、従来の中国一極から各国へと多極化が進むなか、人件費の高騰により省人化や効率化が図られ、生産

品目は高付加価値製品へのシフトが進み、依然としてIT関連の比率は高く、大きな需要を維持している。欧州市場は、生活関連および自動車関連市場が主体で全体需要は例年どおりだが、環境配慮の観点から成形機の電動化比率が上昇してきている。米国市場は、自動車市場の拡大により関連市場が活況を呈している。

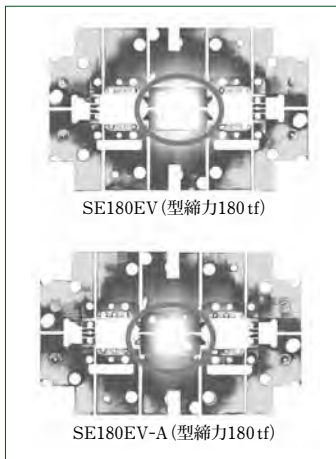


図1 面圧分布比較
Comparison of surface pressure distribution

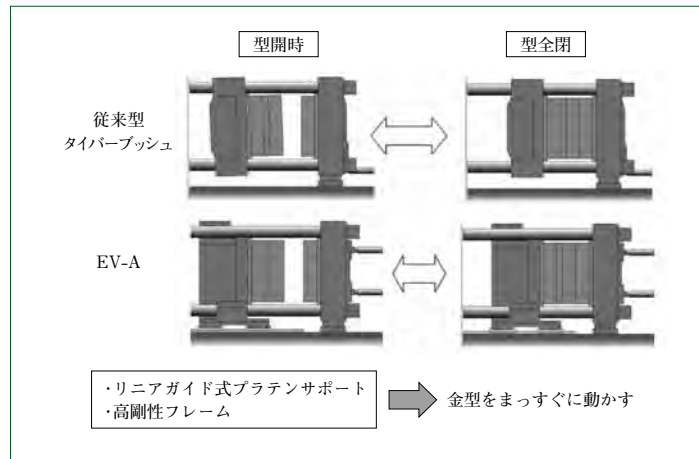


図2 平行度の比較
Comparison of parallelism

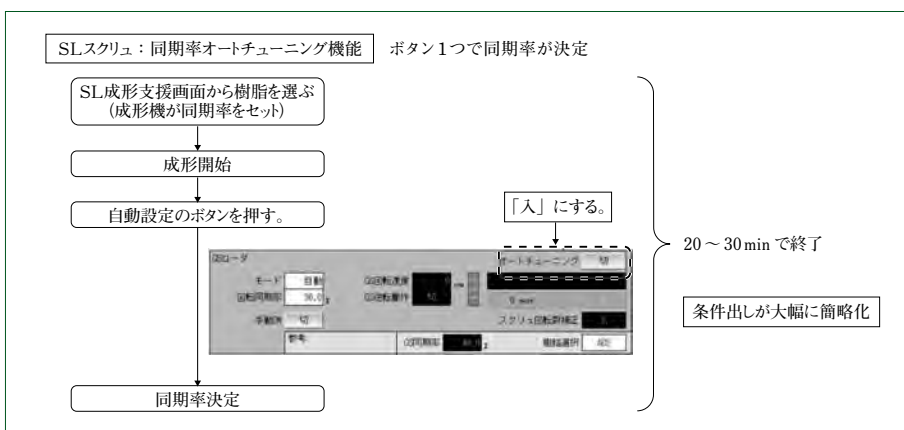


図3 SLスクリュ自動設定(動作フロー)
SL screw automatic setting (operation flow)

こうしたなか、当社では新機種のリリースや機種拡張を行ってきた。主力機種である全電動小型射出成形機においては高精度化に加え、快適成形・最適成形をテーマとして開発したSEEV-Aシリーズをリリースした。さらに、スマートフォンに代表される携帯電話端末の液晶パネルに使用されている薄肉導光板向けに、従来から好評を得ている導光板専用射出成形機SEEV-LGPの性能を向上させたSEEV-A-LGPもリリースした。いずれの機種にも当社独自のダイレクトドライブシステムやセンタープレスプラテンなどの構造、革新的成形プロセスであるZero-moldingなどの機能は継承され、顧客の生産性向上を図っている。本報では、SEEV-Aシリーズの特長を紹介する。

2 全電動小型射出成形機 SEEV-A の特長

SEEV-Aシリーズは、当社全電動小型射出成形機の主力機種であるSEEVシリーズ(型締力500~1800kN)の後継機種である。

快適成形・最適成形をテーマにコントローラの操作性を向上させたほか、各種自動設定機能を搭載した。また、精密で高品質な製品を安定して生産すべく、プラテンやフレーム構造を見直した。さらに制振加減速制御(S-MOVE)を新たに搭載し、高速動作・多段動作で発生する振動の抑制も可能にしている。管理および環境への負荷を最小限にとどめるべく、

省エネルギー動作や強化された品質管理機能などの新機能も搭載した。

2.1 面圧分布の改善

SEEV-Aシリーズでは、従来から定評のあるセンタープレスプラテンをさらに進化させている。プラテン構造を見直し、金型PL (Parting Line) 面に発生する面圧分布を改善した。従来機に比べ金型中心部分の面圧を大きくする構造で、金型全体をより均一に締めることができたようになった(図1)。面圧分布の改善により、バリの抑制やガス逃げの促進といった成形効果が期待できる。

2.2 平行度の変動量低減

当社ではSEEVシリーズから可動プラテンをリニアガイドに搭載する案内構造を採用している。これは、金型をまっすぐ動かし、型開閉における金型への負担を低減させることを目的とした構造である(図2)。可動プラテンがタイパーにガイドされている場合、金型の重みによってタイパーがたわみ、型開閉動作時に金型の姿勢(平行度)が変化してしまう。これは金型ガイドピンへの負荷となる。SEEV-Aシリーズでは、リニアガイド構造を継承し、その効果をさらに発揮できるようフレーム構造も見直した。その結果、型開閉中の平行度の変動量をおよそ20%低減させることができた。

2.3 SLスクリュ自動設定

新理論可塑化システムであるSLスクリュは、黒点・ヤケ

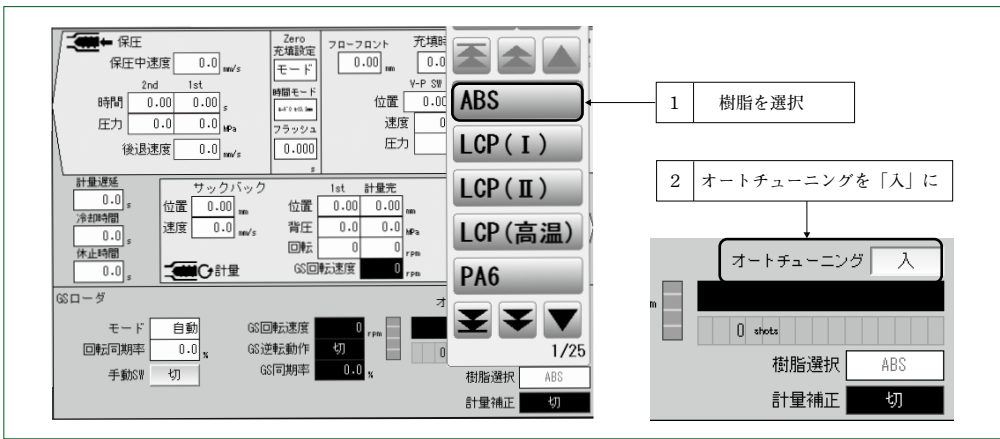


図4 SLスクリュ自動設定(操作画面)
SL screw automatic setting (operation screen)



図5 タブ一覧画面
Tab list screen



図6 画面配色選択
Various screen color selections

の防止や、水分・ガスの排出などに効果を発揮するスクリュであるが、効果を最大限に発揮するにはシリンダ内に投入する樹脂量を適量にコントロールする必要がある。樹脂供給量をコントロールする装置として、定量供給装置(GSローダ)があるが、従来適量となる設定値(同期率)を決定するには、ホッパ口の樹脂状況を見ながら設定を行う必要があり、熟練の技術を要するだけでなく調整にも時間を要していた。今回、SEEV-Aシリーズで新規に搭載されたGSローダのオートチューニング機能は、適量となる設定値(同期率)を自動で求めることができ、かつ調整に必要な時間も1/3近く削減できる。

操作は初心者でも短時間で簡単に行うことができる(図3, 図4)。まず始めに、SL成形支援画面から樹脂を選択し、成形を開始した状態でオートチューニングを「入」にする。この操作だけで、樹脂の供給量が適量となるGSローダの設定値(同期率)が自動で設定される。本機能により、初心者でも高性能なSLスクリュを使いこなせるようになった。

2.4 省エネルギー制御

一般的に成形機は射出工程で樹脂を金型に充填し、保圧工程で製品のヒケを調整する。厚肉製品の成形では、保圧(最終段)に向けて射出モータが圧力を保持することでトルクが上がっていく。保圧中のモータ制御を最適化することにより、

保圧中のモータトルクを抑え消費電力を低減させた。

2.5 人と機械を速く優しくつなぐNC-10コントローラ

HCD(Human Centered Design:人間中心設計)による筐体デザインを採用している。15インチ大型カラーLCD液晶パネルは、高い視認性、軽いタッチ感度および各種タブ機能などを備え、スピーディーな立上げをサポートする。さらに、波形表示や品質管理などの多彩な機能を搭載し、使いやすさを追求した。その例を次に示す。

(1) タブ一覧画面

従来は画面上下のタブを左右に移動し、目的の画面を捜す必要があったが、SEEV-Aでは、新たにタブ一覧画面を設けた(図5)。これにより、タブ一覧画面から目的の画面に直接アクセスでき、設定画面のアクセス時間を短縮することができた。

(2) 画面配色・入力キーレイアウト変更

SEEV-Aでは、作業者の好みや工場環境(照度等)に合わせて画面の配色を3パターンから選択できる機能を装備している(図6)。従来機種(SE-EVまたはSE-DUZ)に近い配色か、モノクロベースの配色を選択できる。また、入力キーレイアウトも2種類あり、作業者の好みにより、選択できるようにした。

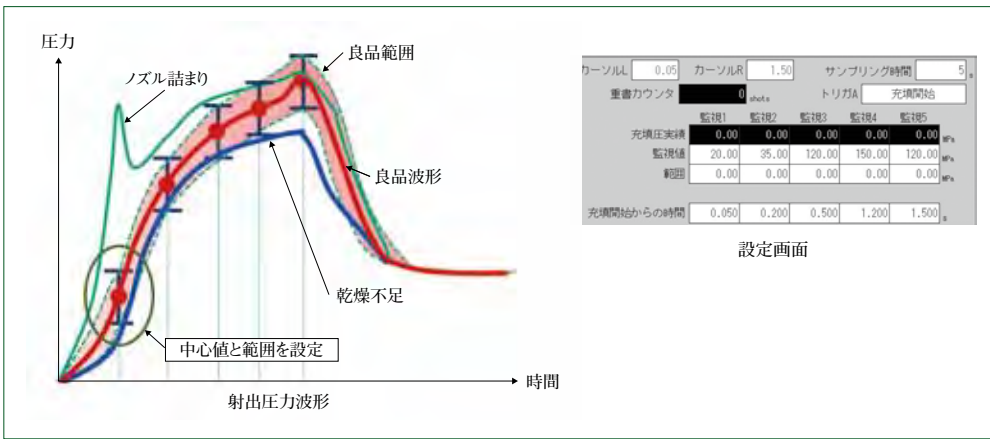


図7 射出圧5点監視
5-point monitoring for injection pressure

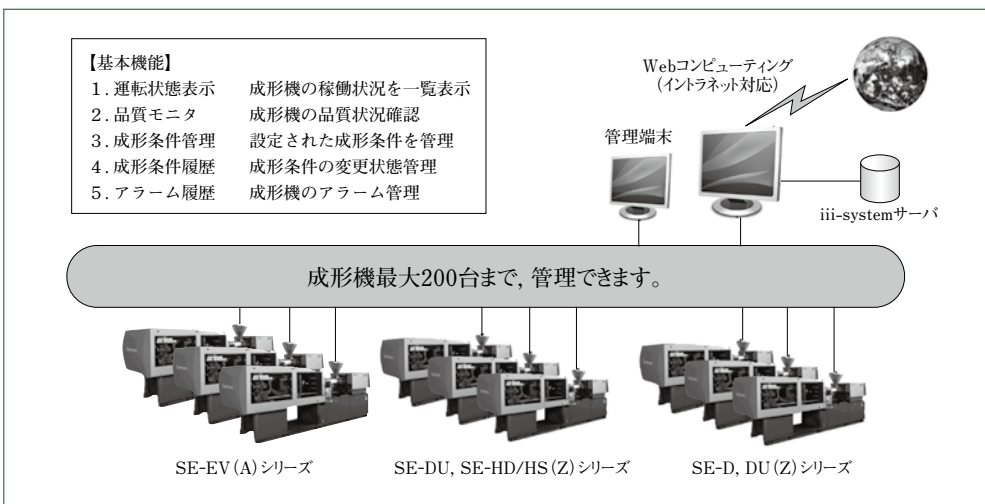


図8 iii-System

2.6 射出圧5点監視

近年、高精度な成形品への需要が増加している。これに伴い、成形品の良品判別の精度向上に対する要望が多く寄せられるようになってきた。SEEV-Aでは外乱による成形品の不良(バリ, ショート)を判別すべく射出圧力の5点監視(図7)を標準搭載した。本機能により、充填・保圧中の圧力をよりきめ細かく監視することができる。監視は簡単で、充填開始からの経過時間により監視するポイントを決め、良品の圧力に対して中心値と範囲を指定するという方法で行う。本機能を活用することで、たとえば圧力が上昇するノズル詰まりなどを原因とする射出圧力の変化を捉えて不良品の判別を行うことができる。これにより、成形品の良品判別の精度向上と製品検査のコスト削減につながるものと期待している。

2.7 iii-Systemとの連携

SEEV-Aは、当社の射出成形機向けIoT製品であるiii-System(アイキューブシステム)と通信する機能を標準で装備している(図8)。iii-Systemは、1台のパソコンで最大200台の射出成形機を集中して管理することができる生産・品質管理システムである。本システムにより、稼働状況、生産数および品質状態など成形工場の状況をリアルタイムにモニタ

リングし、成形に関するさまざまなデータを一括で管理・分析することができる。

3 むすび

今回紹介したSEEV-Aシリーズは、快適成形・最適成形をテーマに開発を行った。

本報では、機械性能としての型締装置の高精度化と、機械性能だけでなく機械の使いやすさや設定の簡便化について報告した。

今後も製品価値を高めていけるよう技術開発に取り組んでいく所存である。

※「Zero-molding」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

小型射出成形機による型締力0tf成形

Mold Clamping Force 0tf Molding by Small Injection Molding Machine

● 徳能竜一*
Ryuichi TOKUNOU

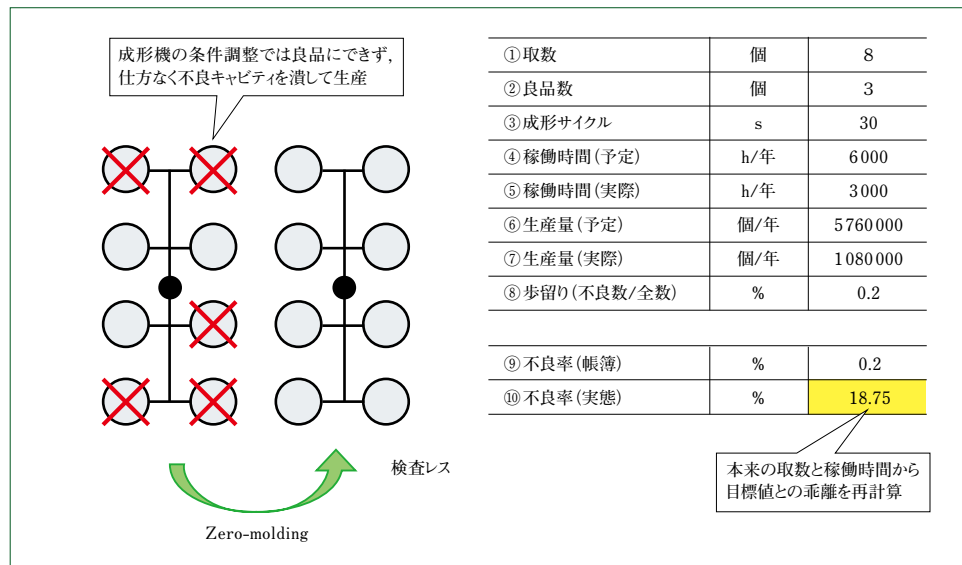


図1 成形問題の事例
An example of molding problem

当社の全電動射出成形機に標準装備されているZero-moldingを金型製作ベースから活用した成形事例について紹介する。

Zero-moldingでの期待効果を最大限に生かせるターゲットを見極めるには、成形工場の不良率とその原因を把握し、本来の狙いとの乖離を明確にする必要がある。

また、Zero-moldingを最大限に生かすべく、金型設計や金型設計者が意図しない変形についても言及している。

成形事例では、スーパーエンジニアプラスチックであるポリフェニレンサルファイド(PPS)樹脂の継手部品を紹介する。通常成形では金型破損リスクが高く、樹脂から発生するガスによるモールドデポジットの影響があるが、Zero-moldingおよび型締力設定0tfにて成形することにより、金型破損リスクの低減やモールドデポジットの低減などの効果を確認することができた。

We introduce examples of molding using Zero-molding, a standard equipment for all electric injection molding machines of SHI, from the mold manufacturing step. To identify the target that can make maximum use of the expected effects of Zero-molding it is necessary to grasp the defect rate of the molding factory and its causes, and to clarify the difference the effective from the original aim. To maximize use of Zero-molding, mold design itself and deformation not intended by mold designers are mentioned in the article. As for the molding case, we introduce joint parts of polyphenylene sulfide (PPS) resin, a super engineer plastic. In an ordinary molding, the risk of mold breakage is high and there is an the influence of mold deposit due to gas generated from the resin. However molding with Zero-molding, with clamping force set 0tf has reduced the risk of mold breakage and the amount of mold deposit. The confirmed effects are described in the article.

1 まえがき

プラスチック成形加工業では、キャビティ欠損による成形取数の縮小、量産中の金型の突発破損、金型のベント詰まりなどが製品の利益率を悪化させる。この問題を自工場で解決できなくなると、さらに人件費の安い工場へと仕事をシフトせざるを得なくなる。しかしながら、これらのコスト損失は、成形方法の改善により、金型破損を防止したりモールドデポジット清掃周期を延長することで本来得るべき利益として還

元可能である。

この改善策を支援すべく、当社の成形機にはZero-molding⁽¹⁾を標準装備している。本報では、金型製作の段階からZero-moldingを活用した成形事例を紹介する。

2 Zero-moldingの狙い

本手法を活用するには、自工場の不良率を把握し、Zero-moldingの効果が最大限発揮できる製品の選定が必要である。その手順を次に示す。

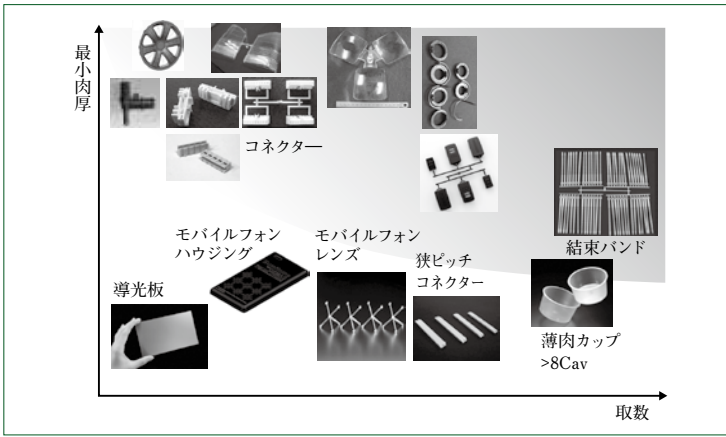


図2 Zero-moldingの狙いの製品
Products targeted by Zero-molding

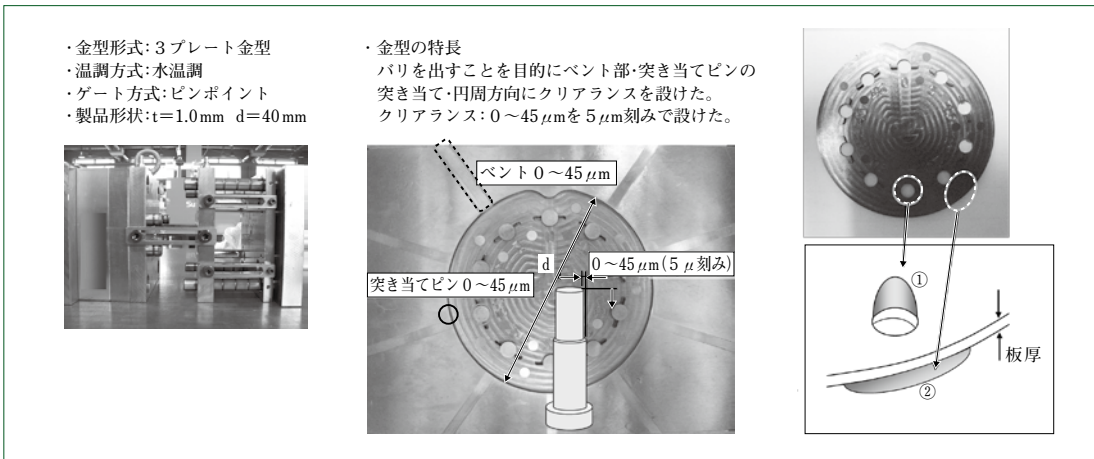


図3 バリ測定用の金型
Mold for flash measurement

2.1 不良率の実態を知る

図1に、Zero-moldingで解決すべき成形問題の例を示す。成形機の条件調整では、キャビティの全個数のうち不良キャビティを潰して、取数を縮小して量産している事例である。この場合の不良率計算例を、図1右の表に示す。取数①に対し、欠品キャビティ分だけ良品数②が減る。成形サイクル③はこれ以上短くできない。予定された年間稼働時間④に対し、金型メンテナンスで頻りに成形機を止め、実際の稼働時間⑤は減った。成形後の製品は、成形機の品質管理機能を使って、良品、不良品、要検査品に分別され良品のみラインに流れる。さらに、品質検査管理を通して不良品が間引かれる。実際の生産量⑦はロット数に合わせ込まれるので、予定としての生産量⑥は隠れ、量産工場でカウントされた不良率⑧⑨は、管理上では非常に少なくなる。しかしながら、キャビティ欠損数および機械停止時間まで遡って不良率を再計算すると、改善すべき不良率⑩は工場内にまだ存在する。

自工場で、品質管理の検品オペレータが1人当たり何台の成形機を管理することが可能か計算する。Zero-moldingでキャビティ欠損率がゼロになった場合、検品オペレータ1人当たりの管理台数がどこまで増やせるかが見込めれば、コスト削減の議論が可能となる。

2.2 Zero-molding が得意とする成形

図2に、Zero-moldingが得意とするターゲットを示す。グ

ラフの横軸は成形品の取数、縦軸は成形品の最小肉厚を示す。取数が増えると、キャビティ欠損の改善率が高くなる。成形品の肉厚が厚ければ、充填時間が相対的に長くなり、Zero-moldingの機能の一つであるFFC(Flow Front Control)⁽²⁾を実施する時間を確保することができる。したがって、肉厚が薄すぎず取数の多い製品群をターゲットにすべきである。なお、肉厚の薄い製品は射出速度や最大圧力設定など、成形機の基本性能を重視して成形せざるを得なくなり、金型だけで解決することは難しくなる。

2.3 隙間を空けた金型作り

Zero-moldingでは、隙間を空けた金型作りを提唱している。金型部品の隙間には、ガスは排出するがバリにならない領域がある。バリの量は、樹脂の種類、樹脂温度、金型温度および金型内圧に依存して変化する。そして、パーティング面に漏れ出す「横バリ」は成形機の型締力に、コアピン、エジェクタピンおよび金型割り構造の外周に発生する「縦バリ」は純粋な金型隙間に依存する。実験金型による縦バリと横バリの状態を観察すると、PPS(Poly Phenylene Sulfide)ではバリにならない隙間でも、TPE(Thermo Plastic Elastomer)ではバリになる。

図3に、バリ測定用の金型を示す。バリを意図的に出す目的で円盤部の外周にベント、突き当てピンの突き当て方向にクリアランスを設け、隙間は0~45 μmで段階的に設けてい

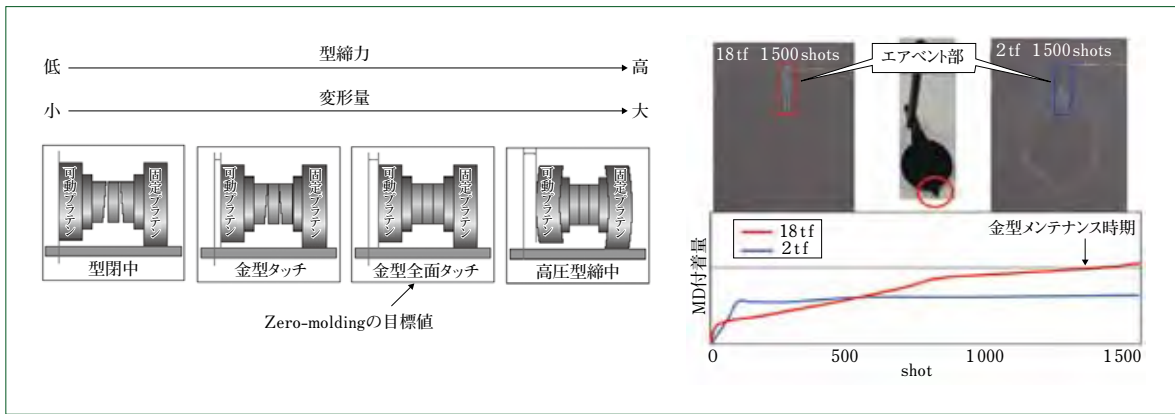


図4 低型締力のメリット
Benefits of using low mold clamping force

通常成形(生産イメージ)																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
日	立上げ	生産	生産	生産	生産	ガスメンテナンス	立上げ	生産	生産	ガスメンテナンス	立上げ	生産	生産	ガスメンテナンス	立上げ	生産	生産	生産	生産	金型不具合	立上げ	生産	生産	ガスメンテナンス	立上げ	生産	生産	生産	生産	
夜																														

Zero-molding(生産イメージ)																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
日	立上げ	生産	生産	生産	生産	生産	生産	生産	生産	生産	生産	生産	ガスメンテナンス	立上げ	生産	生産	生産	生産	生産	生産	生産	生産	生産	生産	生産	生産	生産	生産	生産	
夜																														

図5 生産イメージの比較
Comparison of production schedule images

る。バリ発生量を理論的に考察する理論式もあるが、当社は本金型を用い、量産条件のレンジで実際にバリを出して成形し、金型隙間を何 μm まで空けてよいかを事前に測定したうえで本番の金型を製作している。

隙間を空けるメリットを次に示す。図4左に示すように、成形機で高型締力を発生させると、金型に意図しない変形が発生してしまう。型設計者は、定盤組付け時の金型精度を成形中にも再現したいはずである。型締中に型内に意図しない変形が起きなければ、金型部品の寿命も延びる。金型を構成する部品の隙間が型締力で潰されなければ、部品嵌合時の角殺しも防げるので部品の欠け、摩耗およびピン折れも起きなくなる。Zero-moldingの型締力は、金型PL (Parting Line) 面がタッチする力を理想値としている。図4右に、18tfクラスの成形機を使い、型締力の違いによるモールドデポジット量の堆積差を示す。成形品は図中央部に示すように流動末端部にガスベントを配置した設計になっている。樹脂とともに金型に侵入したガスは金型表面に付着するが、これをカメラで毎ショット撮影し、ガス堆積量を数値解析しグラフ化している。

高型締力の成形では、ガスベント部にガスが集中し、ガスベント溝自体も、金型の変形により目標値より若干潰れてしまう。ベント部にガスが早期に堆積し、やがてベント部が詰まり、製品はショート不良になる。これを防ぐには、成形を中止して金型を清掃することが必要となるが、量産コストを

圧迫してしまう。一方、低型締力の成形の場合、樹脂ガスがPL面全面から抜け、ベント部にガスが集中しないのでガスメンテナンス周期を延長することができる。この発展形として、金型のベント加工をなくした成形も可能となる。

図5に、通常成形とZero-moldingの生産イメージを示す。図中の生産の部分が量産稼働している時間である。Zero-moldingによりガスメンテナンスの周期を延長し突発的な金型破損を防ぐことができれば、生産時間を倍にして製品利益率に還元することも可能となる。

隙間を空けた金型作りのポイントを次に示す。

- ① 工場内で不良率が高く、取数が多く、キャピティ欠損が多いものをターゲットとする。
- ② ピンゲート・サブマリン方式と3プレートの金型はZero-moldingを適用しやすい。
- ③ 製品を構成する金型部品は、バリ限界量の隙間(樹脂別で数十ミクロン)を空けて加工する。
- ④ 実力値として1 μm 以下の精度を保証できる加工機を選定する。

3 成形事例

IPF(国際プラスチックフェア)2014では、Zero-moldingを最大限に利用した金型作りを実施し成形展示を実施した。成形品は、図6に示すようなPPSの継手部品とした。このような製品の場合、成形品の投影面積は大きくなくても、金型は

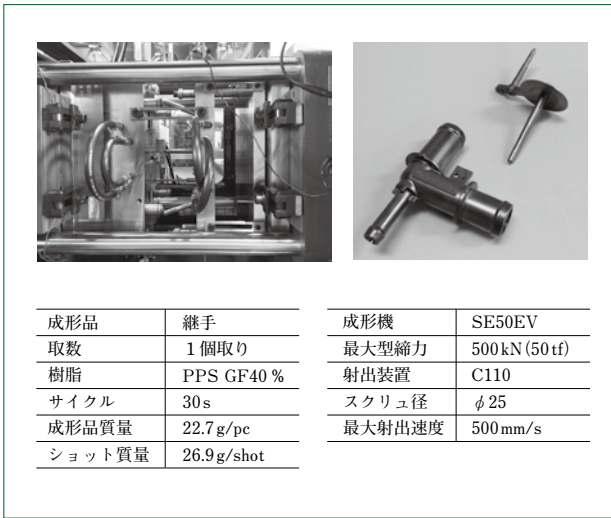


図6 成形事例 (IPF2014)
An example of molding

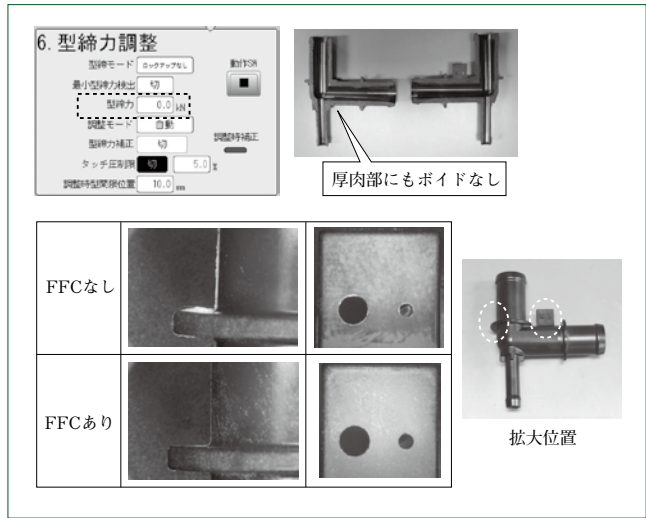


図7 Zero-moldingによるバリなし成形
Non-Burr molding by Zero-molding

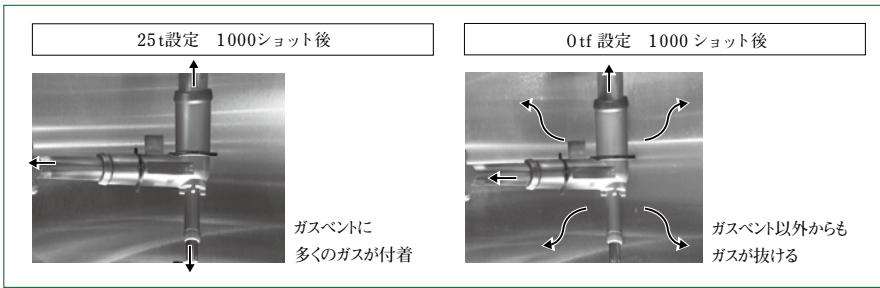


図8 0tf成形によるガスベント効果
Effect of gas venting by 0tf molding

継手チューブ部を構成する目的で多方向スライドになり、可動部を有することによって大型になる。装備を低コスト化すべくスライドをアンギュラで構成し、成形機の型開閉ストロークを目一杯使い、アンギュラ角度を15°以上付けることでスライドストロークを稼いだ。通常の成形では、アンギュラのかじりや折れなどの金型破損リスクが高い。

3.1 型締め力0tfでの成形

成形機の型締め力設定は、図7に示すように0kN(0tf)とし、型タッチ力だけがかかる程度にしてある。FFCを利用することで、PL面にバリが発生せず、さらに厚肉部にもボイドが出ない成形が可能となっている。また、型締め力がかからないと3方スライドのアンギュラピンにも負荷がかからない。アンギュラ部はダメージの進行具合が分かりにくく、量産中にピンが突如折れると金型のオーバーホールで量産時間を圧迫するが、型締め力0tfではこの心配がない。また、可動プラテンのトグル昇圧動作も最小限となる。プラテン部品を使い込むことによる成形機故障リスクも劇的に下がる。

3.2 モールドデポジットの低減

図8に、型締め力25tと0tfでのモールドデポジット量の差を示す。25tで1000ショット量産した場合、金型のスライド可動部がベント部となり、この部分に多くのガスが付着する。ガスがスライド部に集中すると、スライドにデポジットがたまって動きが悪くなり始める。このことから機械を止めて金型メンテナンスすることが必要になる。一方0tfで1000ショ

ット量産した場合は金型PL面全面からガスが抜け、ガスがスライド部に集中しないことから機械停止時間を延長することができる。結果として、展示会の5日間は金型メンテナンスせず量産可能となった。

4 むすび

本報では、Zero-moldingを使用することにより、

- ・量産中の金型損耗コスト削減
- ・金型メンテナンスコスト削減

を可能にする事例を紹介した。本機能は、当社の最新成形機(SE-DUZ, HDZ, HSZ, CL, EV, EV-A, SVシリーズ)に標準搭載されている。これまで使用しなかったユーザに活用いただきたい。

本成形を実施するに当たり、金型支給およびZero-moldingに多大なご協力をいただいた、有限会社水野製作所の皆様に、感謝の意を表する。

(参考文献)

- (1) 徳能電一, Zero-moldingを搭載した住友射出成形機の紹介, 産業機械, no.702, 2009, p.11~15.
- (2) 徳能電一, 型内樹脂流動の確認方法およびZero-moldingによる流動制御, 型技術, 2010, 8月号, p.46~50.

※「Zero-molding」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

アップグレード、ダウンサイジング SEEV-A-HD

Upgrading, Downsizing SEEV-A-HD

● 異 豊*
Yutaka TATSUMI



SE280EV-A-HD

1 はじめに

当社は、前世代の機種をリリースして10年以上が経過し、その間、新興国の伸張やデジタル機器の発展とともに機種を改善してきた。現在では要求機能や品質も変化し、成形機業界を取り巻く競争環境は一段と厳しくなっている。世界で勝ち抜いていくには、常に商品力を高めていく必要がある。

このような背景のなか、当社は新機種SEEV-A-HDシリーズ(型締力2200~5000kN)を開発した。本報ではSEEV-A-HDの特長について解説する。

2 SEEV-A-HDの特長

周期的な成形プロセスであるZero-moldingを徹底して磨き上げて、具現化したのがSEEV-A-HDである。Zero-moldingの効果により、「小さな機械で大きな仕事ができる」機種となった。

Zero-moldingのコンセプトは、不良(Defects)、無駄(Loss)、面倒・失敗(Faults)という3つの不安定要素を限りなくゼロに近づけ、成形現場の生産性をより高めることにある。Zero-moldingを搭載した成形機を使用することで、充填バランスの改善、低型締力成形による金型寿命の延長および成形条件幅の拡大などの効果が期待できる。

また、SEEV-A-HDのラインナップは、従来の4機種に加え、型締力を10%上げて型開閉ストロークを50mm伸ばすことでアップグレードした4機種を追加し、Zero-moldingの効果を引き出しやすい計8機種とした。

3 型締装置の特長

昨今、金型構造の複雑化により、金型サイズが大型化する傾向が見られる。金型搭載能力を向上させつつ高精度化を実現し、生産性を向上させるべく次に示す型締装置の仕様・機

能改善を行った。

3.1 金型搭載能力の向上

(1) 主仕様の拡大

SEEV-A-HDでは、同クラスの従来機に対しタイバー間隔の縦・横のどちらも拡大し、スクエア形状とした。タイバー間隔の拡大に合わせて、型開閉ストロークを同型締力の機種で25mm、アップグレード機で50mm延長した。また、エジェクタストロークは、すべてのサイズで70mm延長し220mmとした。これによりワンランク上の金型を搭載できるようになり、寸法の拡大によって搭載可能な金型の質量も従来より増加している。

(2) 制振加減速制御 S-MOVE

一般に金型質量の増加により型開閉動作における機械振動は大きくなるが、SEEV-A-HDでは、制振加減速制御S-MOVEにより振動を抑制している。従来機でもトグルリンク比に応じ加速度を変更することで振動低減を行っていたが、これに加えてSカーブ速度指令を採用した。速度設定が多段となる場合においてサイクル時間を短縮するのに有効であり、加減速時に滑らかな速度パターンを生成することで、型開閉時間を短縮しながら停止時の振動低減を図るものである。

3.2 高精度化

大きな金型を搭載し、精度良く動作させることで安定性の高い成形を行うことができる。型締装置の精度を高めるべく次の機能を強化した。

(1) リニアガイドプラテンサポート+ブッシュレスタイバー+フレーム強化

型開閉動作において平行度を保つべく図1に示すリニアガイドプラテンサポートとブッシュレスタイバーを採用した。また、金型質量を十分に支えられるようにフレーム強化を行い、従来機比で変形を50%抑制することが

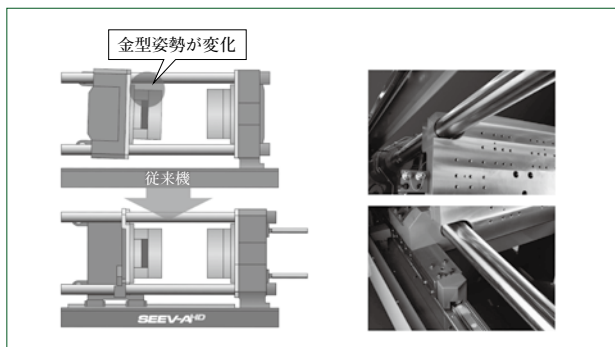


図1 リニアガイド式プラテンサポートおよびブッシュレスタイバー
Platen support based on linear guide and bush-less tie bar

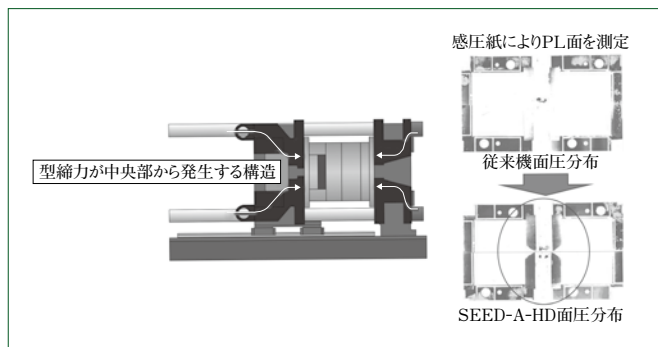


図2 ダブルセンタープレスプラテン
Double center-press platen

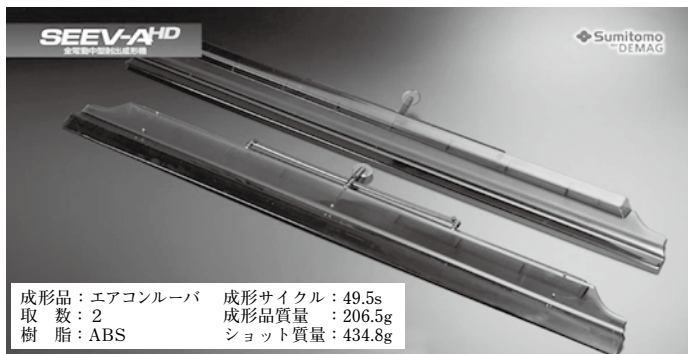


図3 成形品詳細
Detail of molding sample

成形品：エアコンルーバ 成形サイクル：49.5s
取数：2 成形品質量：206.5g
樹脂：ABS ショット質量：434.8g

できた。

タイバーにブッシュを使用した場合、金型の姿勢は、型閉動作時に金型の質量によって変化してしまう。これがガイドピンの摩擦などの原因となり、金型の寿命を縮めてしまうが、リニアガイドプラテンサポートとブッシュレスタイバーを使用することによって金型の姿勢変化を従来機より50%減少させることができた。

(2) ダブルセンタープレスプラテン

力を金型の中心に集中させるプラテン(ダブルセンタープレスプラテン)の形状をさらに進化させた。一般的にプラテンサイズの拡大により金型パンチ面の面圧分布は悪化するが、タイバーブッシュレス構造とすることで可動プラテンの形状設計に自由度が増し、面圧バラツキを従来機比で平均15%の低減することができた(図2)。

(3) 型締力フィードバック

型厚調整機構にサーボモータを採用した。動作分解能が向上することで、量産中でも±1.0%の精度で型締力のフィードバック制御を行うことが可能となった。

4 射出装置の特長

大きな金型に対応することに加え、中型クラスで多い厚肉成形品にも対応すべく次に示す仕様・機能改善を行った。

4.1 高負荷射出

厚肉成形品においてヒケの防止や寸法精度の確保には長時間の保圧工程が必要となる。このことから、自社開発の制御装置に改良を加え、高負荷にも負荷異常を起こすことのない安定生産を可能とした。

4.2 大容量射出

型締装置の拡大に伴い、従来機では2種類であったスクリュを3種類に増やした。可塑化装置を変更することなく、射出容量の大きな成形品にも対応できるようになった。

5 成形事例

SEEV-A-HD のコンセプトである「小さな機械で大きな仕事ができる」の成形事例を次に示す。

- ・成形機：SE385EV-A C2200HD Φ63
- ・成形品：エアコンルーバ 2個取り(図3)
- ・樹脂：ABS

従来4500kNの型締力を必要としていたが、Zero-moldingによる型締力の低減とSE385EV-A-HDの金型搭載能力によって成形機のダウンサイジングを実現することができた。成形機のみならず周辺機器もダウンサイジングすることで、トータルの設備費用の削減が見込める。

6 おわりに

SEEV-A-HDは、

- ・Zero-moldingの効果を十分に引き出すべく型締装置、射出装置の開発を行った。
- ・顧客価値である「アップグレーディング, ダウンサイジング」の具現化を達成した。

今後とも、顧客価値を高め、さらなる射出成形業界の発展につながることを願い、技術開発を進めていく所存である。

※「Zero-molding」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

Zero-moldingを利用した最新射出成形機の機能

Function of Latest Injection Molding Machine Using Zero-molding

● 徳 能 竜 一*
Ruichi TOKUNOU

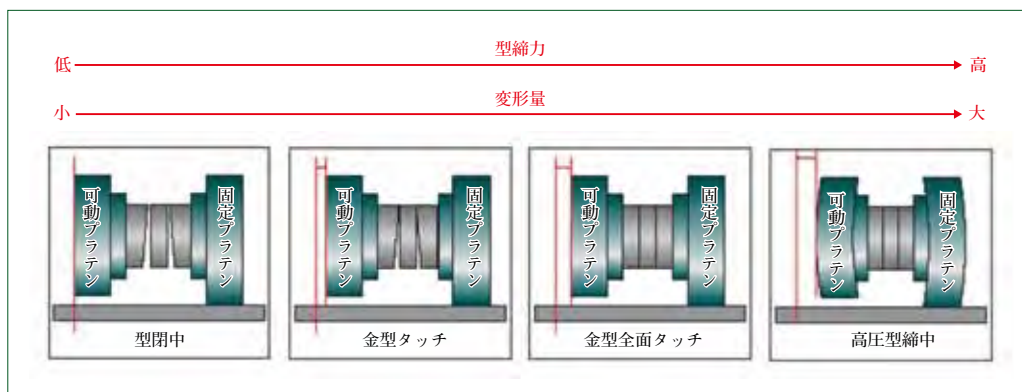


図1 型締力と金型変形量の関係
Relation ship between mold clamping force and amount of mold deformation

1 はじめに

プラスチック成形加工メーカーは、量産利益率を確保すべく技術革新を続けている。たとえば成形パーツの軽薄短小化や部品の一体化により、モジュールの小型化を実現したり、金属部品をプラスチック化して軽量化する方策である。一方で付加価値を付けにくい部品は、海外生産体制により、人件費などを圧縮する努力がなされている。やがて利益率が確保できなくなると、より人件費の安い地域への海外展開となる。現生産体制のままのコスト削減策も必要である。

成形中の量産コストは、量産中の金型消耗部品の使用期間や、モールドデポジット清掃周期を延長することで削減でき、利益率に還元できる。

この方策を支援すべく、当社では、Zero-molding⁽¹⁾を当社成形機に標準装備している。本報ではZero-moldingにより実現した機能を紹介する。

2 低型締力成形のメリット

図1に、トグル式成形機に金型を搭載したときの設定型締力と、成形機プラテンを含んだ金型の変形イメージを示す。横軸は型締プロセスを型閉動作から順番に示している。金型は高精度部品の組合わせ部品であり、型閉動作とともにPL (Parting Line)面が一部接触→全面接触→金型が圧縮され反力でタイバーが伸ばされ高圧型締力が発生するイメージ図となっている。

金型は、型設計者の意図としては、定盤上で組み上げて型を閉じたときに、最も設計理想に近い精度が出るように製作されるが、総じてタイバー4本付近が最も面圧が高く、ロケット部付近が面圧の低い圧縮状態になる。またエジェクタプレートの間隙で圧縮力が伝わらず、均等な圧縮状態にはならない。だからこそ、成形メーカーは同じ金型には同じ成形機を選定し、設備変更による外乱を防ぎリスク回避する。他方

で設備スケジュールが詰まり、量産コストを圧迫する。

単純な平板形状であれば、型板剛性アップやシム調整が可能である。しかし、アンダーカット形状でスライドやアンギュラピンが搭載されていたり、スライド嵌合の位置決め装置やコアピンがあると、連続運転中に型設計者が想定していない高圧型締による変形が型部品にかかったままとする。嵌合部品や摺動部品は、細かい部品ほど早期に摩耗・折損する。量産現場では、成形機を不定期に停止し、型を下ろし、メンテナンス後に量産を再開する。機械停止による量産コストの圧迫は避けられない。

図2に、18tクラスの成形機を使い、型締力の違いによるモールドデポジット量の堆積差を示す。成形品は写真中央部に示すように流動末端部にガスベントを配置した設計になっている。樹脂とともに金型に侵入したガスは金型表面に付着するが、これをカメラで毎ショット撮影し、ガス堆積量を数値解析しグラフ化している。

高型締力の成形ではガスベント部にガスが集中し、ガスベント溝自体も金型の変形により目標値より若干潰れてしまう。ベント部に早期にガスが堆積し、やがてベント部が詰まり製品がショート不良になる。これを防ぐには、成形の中止と金型の清掃が必要となるが量産コストを圧迫してしまう。一方、低型締力の成形では、樹脂ガスがPL面全面から抜け、ベント部にガスが集中しないのでガスメンテナンス周期を延長することができる。この発展形として、金型のベント加工をなくした成形も可能となる。

これらの事例から、型設計者の意図する金型精度を再現し、金型メンテナンス周期を延長するには、型締力は限りなく低い設定が望ましい。したがって当社は、低型締力設定のまま成形できる機械を追求した。

3 最小型締力検出機能

当社の成形機には、搭載した金型の必要最小型締力を計算

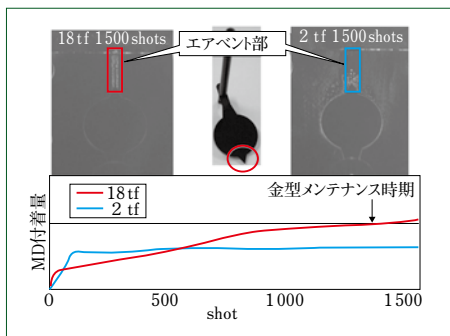


図2 型締力と金型メンテナンス周期の関係
Relationship between mold clamping force and mold maintenance period



図3 最小型締力検出機能
Function for the detection of minimum clamping force

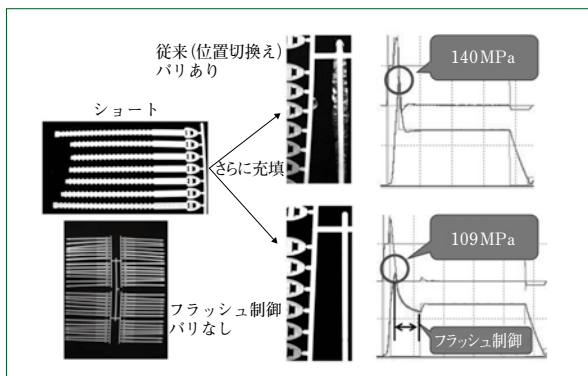


図4 フラッシュ制御
Flash control

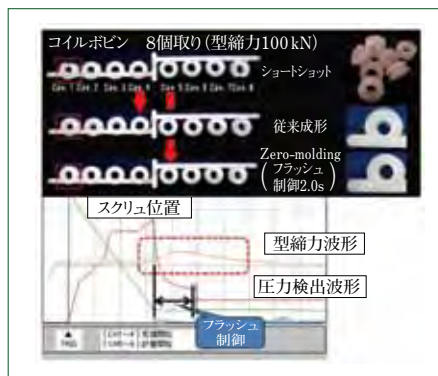


図5 MCM (Minimum Clamping Molding) 成形
MCM (Minimum Clamping Molding)

する機能がある(図3)。この機能を使用すると、成形機が使用している金型で型締動作を数回実施し、PL面が密着するのに必要な最小型締力を計算する。ユーザはこのガイダンスに従い、型締力を可能な限り下げた値で設定できる。一方で、成形品にバリが出てしまうと不良になってしまうので、4章に示す成形方法を併用する。

4 MCM (Minimum Clamping Molding) 成形

当社の成形機は、射出と保圧工程の間に、フラッシュ制御を設けている。フラッシュ制御中は、射出動作に制限がかかる。

図4に、成形機350tクラスで結束バンド56本取りの成形事例を示す。左側にショートショット状態の写真があり、これを位置切換えで追い込んだ成形と、フラッシュ制御を使った成形の2種類の成形結果を示す。位置切換えで追い込んだ場合、製品を完全充填させるのに必要なピーク圧は140MPaであり、最大型締力でもランナ部にバリが発生する。一方、フラッシュ制御を使うとピーク圧が低いまま充填でき、バリは発生しない。このような成形はフラッシュ制御および当社独自のハード(高精度・低慣性・ダイレクトドライブ機構の組み合わせ)により可能であり、FFC(Flow Front Control)と呼んでいる。フラッシュ時間は、手動での設定のほか自動設定モードも備えている。

図5に、型締力を限りなく下げた成形を示す。成形機100tで、設定型締力を10tfにし、コイルボビン8個取りを成形した事例である。成形機には型締力センサが装備され、成形中の型締力をモニタリングしている。フラッシュ制御から保圧

工程に移行するときに型締力波形が一旦上昇し、冷却中に元の状態に復元している。この状態でも成形品にバリは発生しない。トグル機構および型厚移動装置は成形中に動かない。射出圧で型が開かされ、その反力を受けてタイバーが必要分だけ伸ばされて型締力が発生するメカニズムである。この状態であれば、金型への型締力歪みが最小限に抑えられ、製品寸法精度の狂いも少なくなる。このように、従来機より型締力を低下させる成形を、MCMと呼んでいる。

5 おわりに

- (1) Zero-moldingを使用することにより、量産中の金型損耗コストおよび金型メンテナンスコストの削減を可能とする事例を紹介した。
- (2) 本機能は、当社最新機種(SE-DUZ, SE-HSZ, CL, SEEV-A)に標準搭載されている。
- (3) Zero-moldingをこれまで使用していなかったユーザにおいても活用していただき、その有効性を確認していただきたい。

(参考文献)

- (1) 徳能竜一, 型内樹脂流動の確認方法およびZero-moldingによる流動制御, 型技術, 2010, 8月号, p.46~50.

※「Zero-molding」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

住友射出成形機のIoT

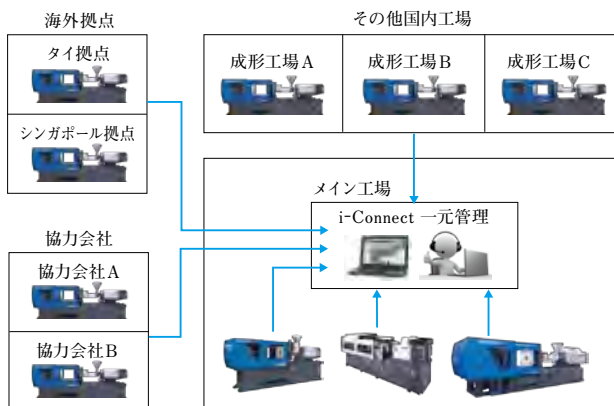
IoT of Sumitomo Injection Molding Machine

●羽野 勝之*

Katsunobu HANO

全世界の成形機 → i-Connectにより、世界の工場
のデータを集約 → 見える化を実現

世界各地の工場の成形機の生産情報を一元管理し、生産品質を向上させます。



一元管理の接続例

System configuration of unified management

1 はじめに

iii-Systemは、2001年のリリース以来、数多くの顧客が利用している当社の生産管理システムである。品質確認・状況報告・日報集計を自動で収集し、成形現場の状況を遠隔地で確認することが可能であり、現場作業の効率化、稼働率向上・品質向上に役立っている。本報では、基本機能、特長、機能および活用例を紹介する。

2 基本機能

- ・ 運転状態表示：成形機の稼働状況を一覧表示する
- ・ 品質モニタ：成形機の品質状況を確認する
- ・ 成形条件管理：設定された成形条件を管理する
- ・ 成形条件履歴：成形条件の変更状態を管理する
- ・ アラーム履歴：成形機のアラームを管理する

3 特長

3.1 現場が見える 成形現場の状況の可視化(図1左)

機械の生産状態を色(青=稼働, 赤=異常, 黄色=停止, グレー=電源OFF)で表示し、工場レイアウトに合わせた配置も可能である。最新のサイクル時間を表示し、リアルタイムに生産数・生産状況を確認することが可能である。現時点の機械の稼働率と生産出来高が日・週・月単位で分かり、加えてアラーム履歴、停止履歴および設定値変更の有無が確認できる。

3.2 品質が見える 成形品質の可視化(図1右)

24時間の成形品質が確認でき、ショット間バラツキの可視化を実現した。

成形条件が見え、過去の詳細データも確認でき、品質データの相関の可視化を可能とした。

3.3 生産進捗グラフ(図2)

iii-Systemに接続された成形機の生産進捗状況をグラフで一覧表示する。

縦軸が日時を表し、次に生産が完了する機械がひと目で分かる。この機能を活用することで、段取り時間の短縮や過剰生産の防止につながる。

3.4 波形表示(図3)

1ショット内の波形データを成形機側から任意に取得することができ、取得した波形データはiii-System内に保存しておくことが可能である。

4 活用例

4.1 電子あんどん(図4左)

工場内にプロジェクトを設置し、成形機の状態がひと目で分かるようにiii-Systemのメイン画面を表示する。この画面には、最新の成形機の稼働状態・生産数・成形条件の変更回数などが表示されており、現場の作業者は即座に工場内の機械の状態を把握でき、埋没ロスの削減が可能となる。

iii-System導入効果を次に示す。

(1) 見える管理の実現

今まで見えなかった成形現場の状況が把握でき、現場の意識改革につながる。このことにより、生産完了から次の生産準備までの時間や、成形機の異常解除までの時間が短縮される。

(2) 生産性の向上

誤った成形条件の変更を早い時期に把握し、不良品の数を最小限に抑えることができる。

4.2 トレーサビリティ(図4右)

iii-Systemの総括グラフの任意時間軸上でマウスを右クリックしてトレンド・相関グラフを呼び出すと、その時間の前後でショット数の最も少ない時間から最も多い時間までのトレンド・相関グラフを作成する。この機能により、ロット開始時に成形機の品質管理カウンターをクリアすれば、そのロット全部の成形品のトレンド・相関グラフ(品質レポート)を出力することができる。このトレンド・相関グラフが安定していることで成形品の品質が保証される。

iii-System導入効果を次に示す。

(1) 省人化の実現

品質レポートをチェックすることで、1次検査は抜き取り検査のみとする。これにより、検査にかかる時間と費用の削減を計ることができる。

(2) 顧客からの信頼向上

成形現場に大型液晶モニタを設置し、トレンド・相関グラフを常に監視することで顧客に対して成形品質管理



図1 特長
Features

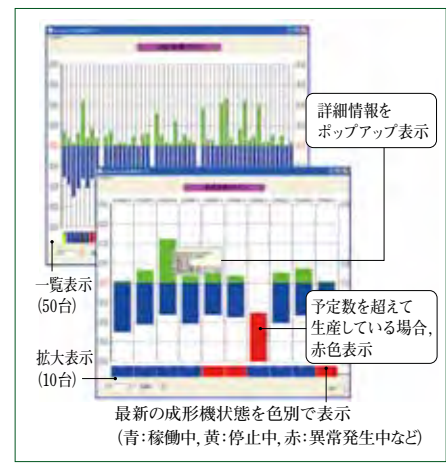


図2 生産進捗グラフ
Production progress chart

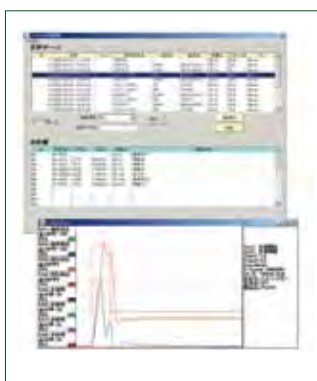
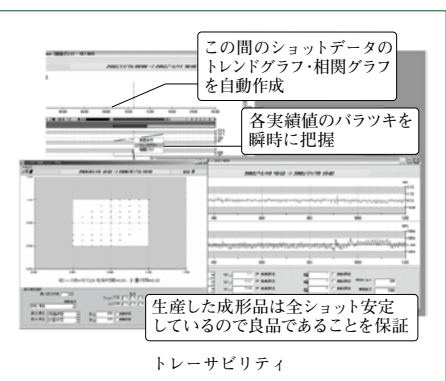


図3 波形表示
Waveform display



図4 活用例
Application example



トレーサビリティ

をアピールすることができる。

4.3 成形日報の自動作成

iii-Systemで収集した成形機の実績データをもとに日報を自動出力し、稼働状態の見える化を実現している。

日報のフォームは、顧客が現在使用しているものに近い形式で自動生成されることから、日々の日報作成の手間を大幅に削減できる。

5 次世代品質管理システム

iii-Systemをフルモデルチェンジし、次世代の品質管理システムi-Connectとして進化させ、IPF(国際プラスチックフェア)2017に参考出品した。ブラウザベースの画面となっており、アイコンを多用した直感的な操作で、多彩な品質管理機能を活用することができる。成形機の稼働状況やログインデータ、異常履歴などの情報をi-Connectを介してMES(Manufacturing Execution System)と連携することで、工場全体の生産計画と進捗状況を管理することができる。付帯機器や各種センサの実績データについても成形機のログインデータと紐付けて参照することが可能となり、数値やグラフの変化点から、そのときの成形条件も参照でき、トレーサビリティ管理にも役立てることができる。i-Connectは、LAN回線を使って成形機とリンクしており、国内や世界各地の生産工場に設置されている成形機の情報をパソコンやタブレット端末を用いて一括管理することも可能となる。日本国内に居ながら、世界各地の生産拠点の成形機情報をリアルタイム

で確認できる。

また、当社のメンテナンスサービスTomenai Service内に存在する異常発生時のトラブルシューティング機能とi-Connectの異常履歴情報をリンクさせ、PCやタブレット端末でトラブルの解決方法などを成形現場で参照することが可能となっている。今後は、簡単な部品寿命を予測する機能を追加することで、寿命が近づいている部品が存在する場合には成形機一覧画面に警告のアイコンが表示され、成形機の寿命予測画面からその部品を把握できるようにする。今までの機械停止→サービスマン出向→原因調査→故障部品判明→部品手配→交換という手順を、警告察知→部品を確認→サービスマン出向/部品手配→交換として、プロセスを削減し計画的なメンテナンスを実現していく所存である。

6 おわりに

本報では、住友射出成形機のIoTとして、

- ・iii-System
- ・次世代i-Connectの思想

について紹介した。

今後、さらに高精度化が進むプラスチック業界のIoT化に対応すべく、収集したビッグデータの活用方法や顧客の利便性向上に努めていく所存である。

住友射出成形機のソリューション-1 品質管理パッケージ

Solutions of Sumitomo Injection Molding Machine : Quality Management Package

●鈴木 啓介*
Keisuke SUZUKI



SE315EV-A-HD

1 はじめに

Smart factoryに代表される成形工場の効率化への要求が高まっている昨今、当社は、住友射出成形機のソリューションとしてさまざまなパッケージを開発しリリースしている。

そのなかで、射出成形加工でのトレーサビリティを中心とした成形品の品質に加えて金型や射出成形機の管理・監視に対する要望が高まっている。その要望に応えるべく、今回、品質管理パッケージを開発した。

本パッケージは、IPF(国際プラスチックフェア)2017において「M2M, IoTによる生産パフォーマンス向上」というテーマでSE315EV-A-HDにて出展し、好評を得た。

表1に、SE315EV-A-HDの仕様を示す。

2 品質管理精度の向上

電動射出成形機には、図1に示すように多くのセンサが装備されている。加熱シリンダの温度を計測する熱電対やヒータの電流検出器のほか、型締・エジェクタ・射出・計量の各サーボモータには位置を計測するエンコーダ、サーボモータのドライバにはモータの電流検出器があり、さらに射出圧力や型締力を測定すべくロードセルや型締力センサも備えている。これらのセンサにより成形品の品質を監視することを可能とし、特に射出圧力や型締力によりバリやショートなどの成形不良などを判別することで、品質管理の精度を向上させている。

しかしながら、昨今の成形品の高精度化や生産効率向上を目的とした多数個取り化などにより、不良を判別することが困難になってきている。また、金型内での樹脂の挙動を直接

計測できる型内圧や、型内圧に大きな影響を与える金型温度の計測も進んでいる。

今回当社では、射出成形機とは別に計測・監視していた金型や冷却水流路などに搭載された各種センサの値を直接成形機コントローラに読み込み、品質管理画面でほかの成形実績データや波形データと同様に扱える品質管理パッケージを開発した。ショットごとに数値データとして取り込まれるので、監視機能により成形状態の異常を素早く察知するとともに、不良品検出精度を向上させ、より高精度な品質管理を実現する(図2)。さらに、成形機と付帯機器、生産品質管理システム、MES(製造実行システム)を接続することで、M2M, IoTを構築することができ、より効率的な生産が実現すると考えている。

3 機能例

3.1 型内圧センサ・型内温度センサ

型内圧センサ・型内温度センサは、金型内の樹脂流動部(ランナやキャビティ)の圧力や温度を直接計測できることから、金型内の挙動を解析することができる。このセンサ値を成形機コントローラに読み込み、波形表示させることにより、従来の解析である射出速度・射出圧力と型内圧・温度との相関が確認できる。さらに、複数個の型内圧センサにより多数個取り解析もでき、温度センサを監視することにより金型内の冷却工程の監視も可能になる。

また、長期の監視として、品質管理画面にて1ショット内の特徴的なデータを長期に保存できることにより傾向管理が可能になる。

表1 SE315EV-A-HD成形機仕様
Specifications of SE315EV-A-HD injection molding machine

機種	SE315EV-A-HD
型縮力	3150kN(315tf)
射出装置	C2200HD
スクリュ径	φ63mm
最大射出速度	160mm/s
特別仕様	①温調機/SPICCP通信 ②取出し機条件リンク ③品質管理パッケージ/生産完了パッケージ ④QRコード ⑤マグネットクランプ

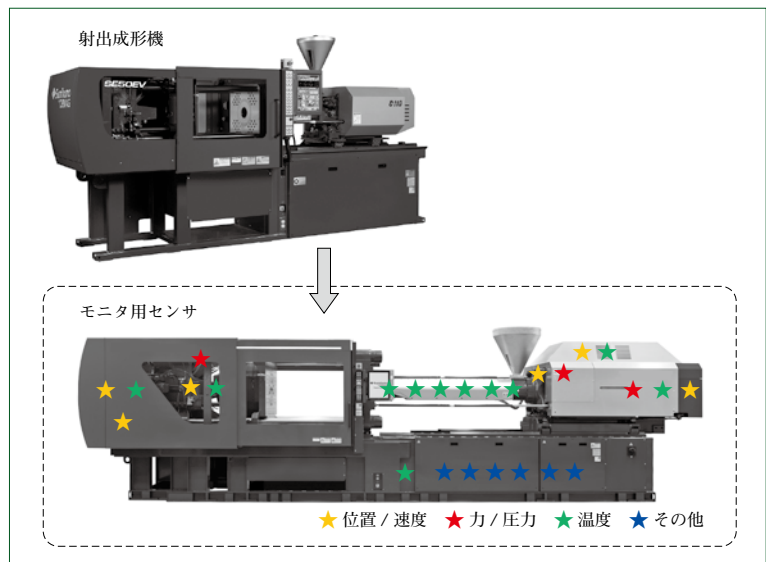


図1 全電動射出成形機のセンサ配置
Distributed sensor system of all electric injection molding machine

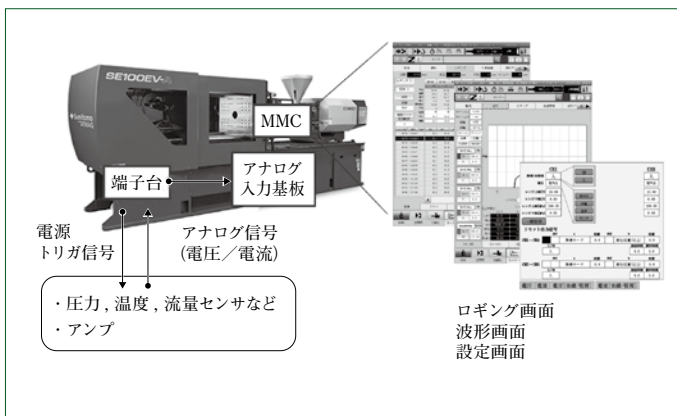


図2 品質管理パッケージのシステム構成
Configuration of quality control package system

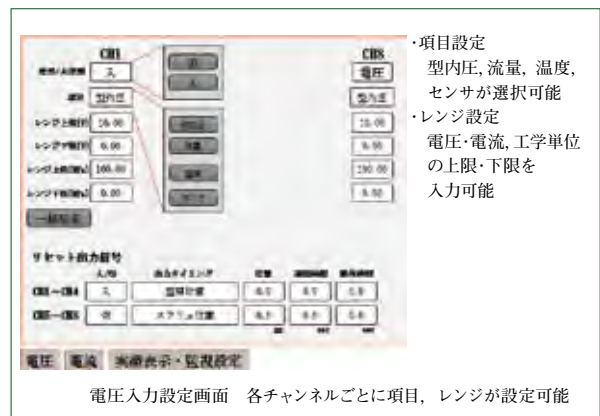


図3 設定画面
Input screen for sensor input setting

3.2 金型冷却水の流量センサ

金型冷却水の流量センサを成形機コントローラに読み込むことにより、加熱シリンダの温度や金型温度と同様に冷却水流量の上限・下限が監視できる。このことにより、従来は操作者が目視や感覚で行っていた金型冷却水の確認がデジタル化される。流量が工学単位 (l/min) で表示されることから、冷却水流路のつまりなどの環境変化も検知可能になる。

3.3 ユーザフレンドリー

センサを使用する際、レンジ設定やリセットタイミング設定に手間がかかり、特に複数個のセンサを使用する際にはそのn倍の手間が発生していた。これを解消させるべく専用画面を用意し、チャンネルごとの項目設定を可能にした(図3)。

4 おわりに

今回、住友射出成形機のソリューションとして開発した品質管理パッケージについて、

- ・型内圧および金型温度センサによる品質の高精度化
- ・流量センサによる品質の高精度化

を紹介した。

品質管理パッケージのほかに、生産管理パッケージ、温調機や乾燥機などの周辺機器とのSPICCP通信などさまざまなパッケージを組み合わせることにより、顧客の工場に最適な成形システムが構築されると考えている。

M2MおよびIoTテクノロジーは、今までできなかった成形機と付帯機器との情報交換および共通化を実現した。今後、さらに高精度化が進むプラスチック業界のIoT化に対応すべく、収集したビッグデータを活用し顧客の利便性向上に努めていく所存である。

住友射出成形機のソリューション-2 生産完了パッケージ

Solutions of Sumitomo Injection Molding Machine : Product End Package

●鈴木 啓介*
Keisuke SUZUKI



SE315EV-A-HD

1 はじめに

Smart factoryに代表される成形工場の効率化への要求が高まるなか、当社は、住友射出成形機のソリューションとしてさまざまなパッケージを開発しリリースしている。本報では、射出成形工場のプロセスに注目し、変種変量・多品種少量生産の場合に発生する生産製品の切り換え、金型交換および樹脂交換時の効率を改善すべく開発した生産完了パッケージについて解説する。

本パッケージは、IPF(国際プラスチックフェア)2017において「M2M, IoTによる生産パフォーマンス向上」というテーマでSE315EV-A-HDにて出展し、好評を得た。

表1に、SE315EV-A-HDの仕様を示す。

2 生産立上げの迅速化・省人化

生産現場での問題点として、立上げ時の設定ミス、時間のロスといったものが多くあげられる。また、成形機を扱える人や生産状況を管理できる人が少ないなど、人手不足にも直面しているのが現状である。これらの問題に対しては、QRコードを利用した周辺機器との連動立上げに加え、自動立上げ機能や生産完了パッケージを用いることで設定ミスの防止につながり、省人化を補うことができる。

QRコードを利用した2種類の段取り方法を次に示す。

(1) 金型と成形条件をリンクさせる。

使用法は簡単で、QRコードリーダーを成形機に接続し、あらかじめ金型に貼ってあるQRコードを読み取る。このコードには、成形条件が記録されており、コードを読み取ることで自動的に成形条件が呼び出されるので、

条件設定の手間を一気に省くことができる。

(2) 段取り認証コードを使用する。

段取りには、金型だけではなく取出機チャック板・樹脂も決まっている場合が多い。そこで成形条件・金型・取出機のチャック板・樹脂の情報が記載されている段取り認証コードというQRコードを使用する。

- ① 段取り認証コードを読み込み、成形条件を呼び出す。
- ② 金型・取出機チャック板・樹脂に取り付けたそれぞれのQRコードを読み取る。

①、②の作業だけで、呼び出された成形条件に適合している金型・取出機チャック板・樹脂の整合性を確認することができる。さらに成形条件に付随する6項目をユーザにて設定することが可能である(金型・取出機チャック板・樹脂はデフォルトで設定済み)。

実際に成形する金型とチャック板の整合性を確認できるので、たとえばチャック板が一致しない場合は連続運転を停止させることが可能である。もし、取出機のチャック板を間違えたまま作業を続けてしまうと、チャック板や金型を破損させてしまう事故を起こしかねない。余計な修繕費用がかかるうえ、生産も停止する重大な事態となってしまう。このような、ケアレスミスが引き起こす事態を未然に防ぐことができる。

これらの方法により、段取りがスムーズになり、しかもミスのない設定が可能となる。生産が停滞することは、さらに大きな損失を招いてしまう。図1に、QRコードによる設定ミス時の損失計算例を示す。段取り認証は、作業の効率化と経済損失の回避を同時に実現することができる。

表1 SE315EV-A-HD成形機仕様
Specifications of SE315EV-A-HD injection molding machine

機種	SE315EV-A-HD
型縮力	3150kN(315tf)
射出装置	C2200HD
スクリュ径	φ63mm
最大射出速度	160mm/s
特別仕様	①温調機/SPICCP通信 ②取出機条件リンク ③品質管理パッケージ/生産完了パッケージ ④QRコード ⑤マグネットクランプ

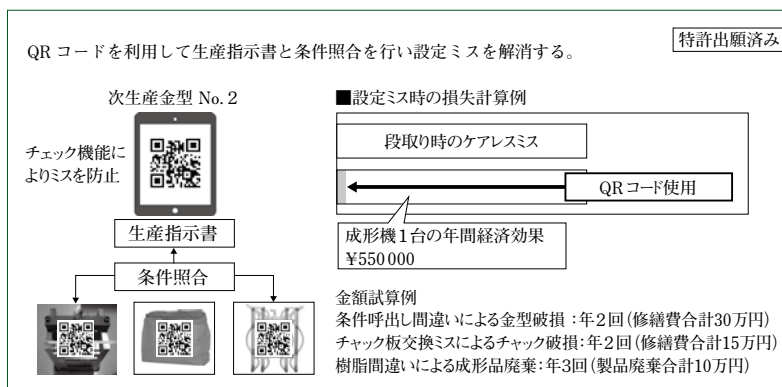


図1 QRコードによる設定ミス時損失の低減計算例
An example of estimation of reduction of loss incurred by setting mistake through use of QR-code

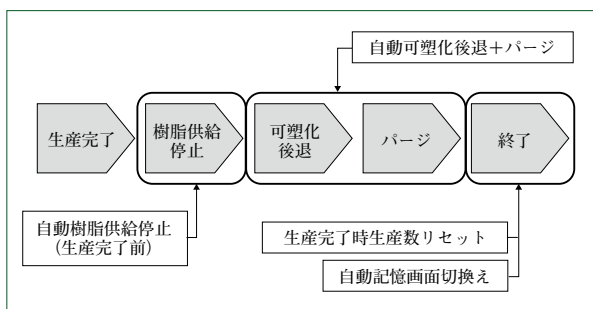


図2 生産製品の切換え時のプロセス
Process at the time of product switching

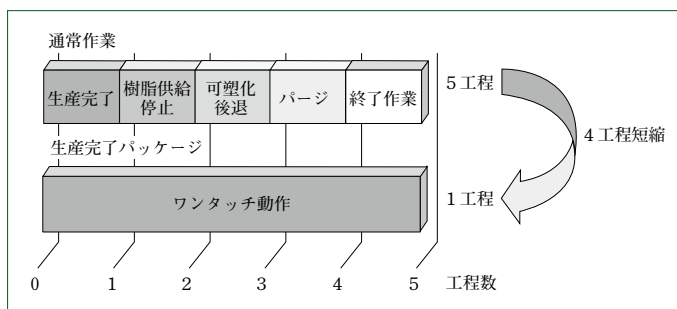


図3 生産完了パッケージの工程短縮例
An example of process shortening for "Production End Package"

3 生産完了パッケージの機能

図2に、一般的な生産製品の切換え時のプロセスとソリューションを示す。

現生産製品の生産完了→供給樹脂の停止→スクリュ内の樹脂を排出(パージ)→金型交換→次生産製品の成形条件の呼出し→周辺機器の条件呼出し

と多くのプロセスが必要となっている。

また、生産製品を交換する際、金型交換や樹脂交換、取出機のチャック板の交換、成形条件、周辺機器条件など人の手に依存して確認する項目が多くある。この確認を怠ると金型、射出成形機および周辺機器などに破損の可能性が生じる。

生産製品の切換え時のプロセスに対しては、次に示す機能により効率化を図っている。

3.1 樹脂供給の停止

生産完了前に射出成形機が乾燥機に対して停止信号を出力し、樹脂供給を停止させる。この機能により、生産完了予告との連動が可能となり、次生産製品での樹脂変更時にスクリュ内の樹脂を排出するパージの時間を短縮し、樹脂材料を削減することができる。

3.2 生産完了後の自動パージ

生産完了後、作業者の操作により行われていたスクリュ内の樹脂を排出するパージを射出成形機で自動的に行う機能である。パージの時間短縮および樹脂材料の削減のほかに作業者不在でも自動的にパージ作業が行われることから、省人化にもつながる。

3.3 生産完了時の生産数リセット、記憶画面自動切換え

次生産開始時には自動的に生産数がリセットされ、成形条件記憶画面に切り換わる。人による操作が不要なことから時間が短縮され、作業者の次工程への操作忘れ防止につながり、管理精度も向上する。

図3に、生産完了パッケージの工程短縮例を示す。

4 おわりに

今回、住友射出成形機のソリューションとして開発した品質管理パッケージについて、

- ・生産立上げの迅速化・省人化を目的としたQRコードの利用方法
- ・生産完了パッケージの各種機能

を紹介した。

生産完了パッケージのほかに、品質管理パッケージ、温調機や乾燥機などの周辺機器とのSPICCP通信などのさまざまなパッケージを組み合わせることにより、顧客の工場に最適な成形システムが構築されと考えている。M2M、IoTテクノロジーは、今までできなかった成形機と付帯機器との情報交換および共通化を実現した。今後、さらに高精度化が進むプラスチック業界のIoT化に対応すべく、収集したビッグデータを活用し顧客の利便性向上に努めていく所存である。

LIM(液状シリコン樹脂成形)パッケージ

LIM(LSR injection molding) Package

●木村 勇一*
Yuichi KIMURA



LIMパッケージ 成形システム
Molding system with LIM package

1 はじめに

近年、高透明の特殊液状シリコンゴム(LSR:Liquid Silicone Rubber)が高輝度LED用などの耐熱レンズ材として注目されている。従来のゴム状LSRも、その耐熱性・耐寒性・圧縮性・肌触りの良さなどの特長から用途は多い。

LSRはゴム状の柔軟な熱硬化性樹脂で、A液(主ポリマー+触媒)とB液(主ポリマー+架橋材)を混合し、加熱することで硬化する。その用途は、

- ・光学部品 拡散レンズ、低屈折率レンズ
- ・医療分野 医療用マスク、Oリング、シール部品
- ・IT/自動車分野 防水携帯、コネクタシール、ダイアフラム
- ・生活関連分野 哺乳瓶の吸い口、メガネパッド、鍋蓋など、多岐にわたっている。

なお、液状シリコンゴムを使用した射出成形をLIM(Liquid Injection Molding)と呼んでいる。本報では、LIMを対象にしたパッケージについて紹介する。

2 成形品質への要求とソリューション

成形不良現象とその原因、および解決技術を次に示す。

- ① ショート・ヤケ・表面不良・バリ、離形不良：充填量不足、過剰充填⇒超高精度射出制御、FFC(Flow Front Control)成形
- ② ショート・ヤケ、金型寿命：エア逃げ不良、金型変形⇒真空引き回路+型開閉停止精度、高剛性型締装置、最小型縮力検出機能

- ③ ショート・バリ・ゲートバランス悪化：材料の粘度不均衡、経時粘度変化⇒粘度測定機能

3 LIMにおける特徴

3.1 2液計量混合吐出装置(図1)

A材とB材の混合比(通常は1:1)を管理しながら、成形機シリンダ内に混練されたLSRを注入する必要がある。空気混入・搬送圧縮ムラなどが起きないように工夫し、材料缶交換作業性・メンテナンス性(分解清掃)も重要となる。

3.2 LIM金型

LSRを加熱硬化させるには、キャビティ表面を150~200℃にする必要がある(ヒータ温調)。製品部以外のプレートは冷温調をする(水温調)。このことから、キャビティとスプル・ランナの金型プレート間に断熱板を有する構造になっている。また、製品部のエジェクタピンのクリアランスやエア逃げスリットは、ごく小さい寸法とし、型内真空吸引を使用する。

4 成形システム

バリの抑制、安定成形を実現させるべく、当社全電動射出成形機の基本性能である革新的成形プロセスであるZero-moldingおよび低速射出分解能力が威力を発揮する。LSR専用スクリュは小容量精密計量と低速充填性を実現する反転シールを採用している。

材料供給装置は、十分なポンプ性能により安定計量を実現している。また、グリスによる汚染を防止するタイバーメッキの採用により、成形品のクリーン性を確保している。

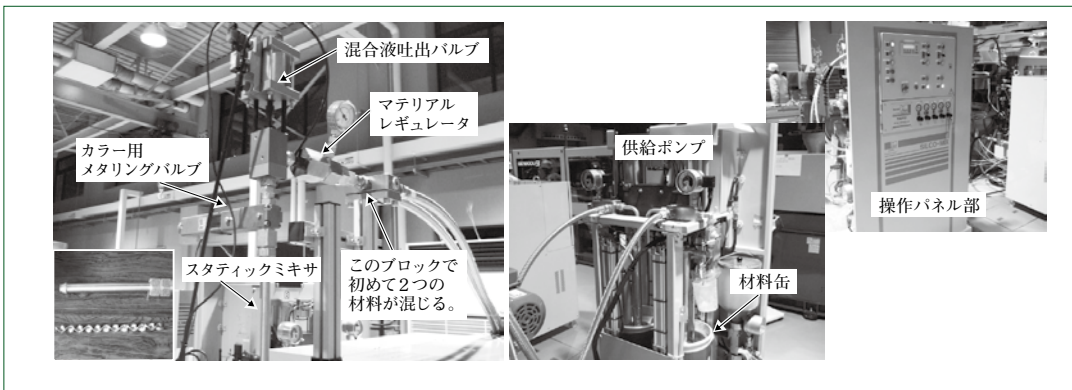


図1 2液計量混合吐出装置
Dosing, mixing, and discharging device for two liquid-state materials



図2 成形品
Molding samples

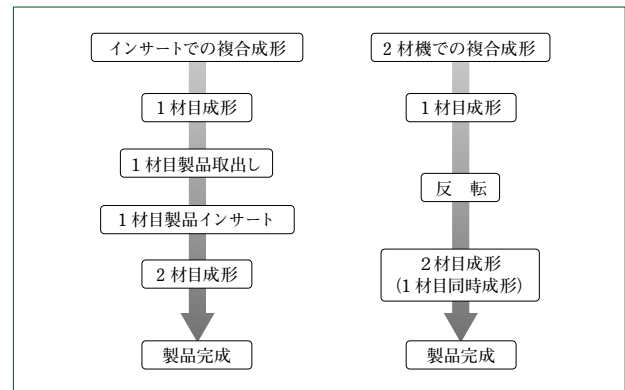


図3 インサート成形と2材機成形の複合成形工程比較
Comparison of composite molding processes between insert molding and two-material molding

5 成形事例

図2に、当社がこれまで展示会で実演した成形品3点を示す。

① コースター

- ・成形品寸法 $\phi 91$ 厚さ 2 mm
- ・樹脂 LSR
- ・取数 2個
- ・1ショット質量 25.6g
- ・製品質量 12.3g
- ・成形機 SE100DUZ
- ・スクリュー径 $\phi 32$
- ・型締力 1000kN

② ダイアフラム

- ・成形品寸法 35×22mm 最大厚さ4.5mm
- ・樹脂 LSR
- ・取数 2個
- ・1ショット質量 2.3g
- ・製品質量 1.15g
- ・成形機 SE75DU
- ・型締力 750kN

③ キャップオープナー

- ・樹脂 PC(ポリカーボネート)+LSR 多材成形品
- ・取数 1個

- ・1ショット質量 PC 15.5g LSR 11.3g
- ・製品質量 26.87g
- ・成形機 SE75DU-CI
- ・スクリュー径 $\phi 20$ (PC)+ $\phi 20$ (LSR)
- ・型締力 750kN

これらの成形品は、平行2材機による複合成形である。図3に、インサート成形と2材機成形の成形工程の比較を示す。インサートでの複合成形の場合、1材目成形品をインサートする際にインサート品が落下する懸念があり、インサート時のズレ防止機構が必要になる。また、インサート品の変形により寸法精度が悪化してしまう。2材機での複合成形の場合は、工程が少なく生産性の向上が図れる。

6 おわりに

近年注目が高まってきているLIMに関して、

- ・成形品質への要求とソリューション
- ・LIMにおける特長
- ・当社のLIMパッケージのシステム
- ・成形事例

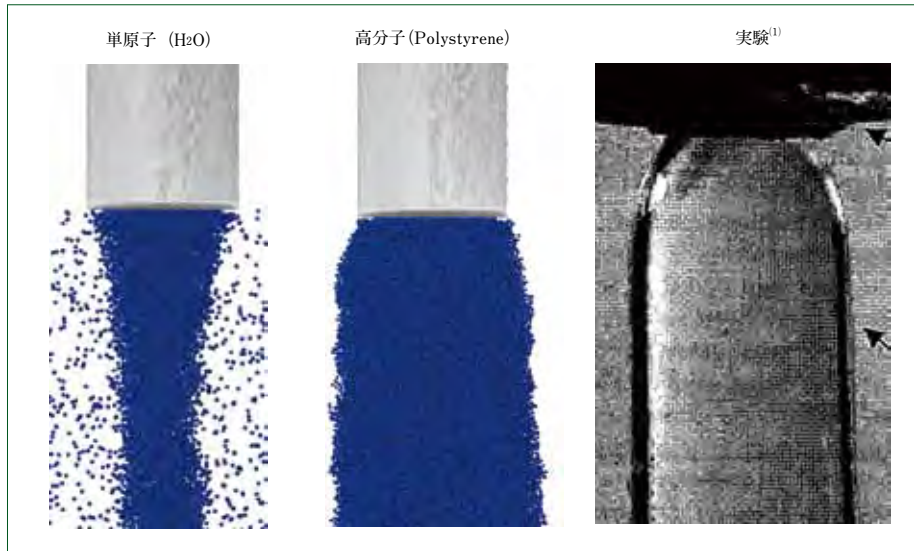
を紹介した。今後も耐熱レンズ材、多材成形における生産性の向上を目的とした新たな用途が開発されていくと考えられる。当社も顧客の多様な要望に応じていく所存である。

※「Zero-molding」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

くりこみ群分子動力学法を用いた高分子シミュレーション

Polymer Simulation by Renormalized Molecular Dynamics Method

●小林 義崇* 市嶋 大路*
Yoshitaka KOBAYASHI Daiji ICHISHIMA



特異流れの解析
Analysis of specific flow

当社は、MD(Molecular Dynamics)法の計算効率を飛躍的に向上させるべくRMD(Renormalized Molecular Dynamics)法を開発した。この手法は、巨視的な現象を相似に保ち、粒子数を粗視化することができる。当社は、RMD法を用いて高分子シミュレーションを行うことで粘弾性流体のいくつかの特有な現象を再現することに成功した。

To dramatically improve computation efficiency of Molecular Dynamics (MD) method we developed Renormalized Molecular Dynamics (RMD) method. This method makes it possible to decrease the number of particles with macroscopic phenomena maintained at similarity. Through polymer simulations by RMD method, we have succeeded in replicating several particular phenomena of viscoelastic fluids.

1 まえがき

高分子が流動を伴うとき、粘弾性流体として多様な特異流れを示すことが知られている。特異流れの例としては、回転している棒に迫り上がるワイゼンベルグ効果やノズルから流出する流体が膨らむバラス効果などがあげられる。これらは、高分子加工の工程で製品の品質や形状に多大な影響を及ぼすことが報告されている。粘弾性流体の理解は工業的に重要であり、コンピュータを用いた数値解析によりさまざまな解析が行われている⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

高分子の数値解析手法として大きく2つあげられる。一つは、流体の変形速度と応力の関係を記述する構成方程式を用いる手法である⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。しかしながら、高分子流体の慣性力、粘性力および弾性力が作用した複雑な流動現象はいまだ十分に把握されておらず、ユニバーサルな方程式は得られていない。もう一つの手法として、分子の運動を数値的に解き、時間発展を求める手法がある。これは分子動力学(MD :

Molecular Dynamics)法に代表され、分子運動に起因する現象の再現が可能である。ただし、空間スケールが大きくなると粒子数が膨大となり、スーパーコンピュータを用いてもミクロン領域の計算⁽⁶⁾が限界である。

そこで我々は、高分子のMD法にくりこみ群の考え方を適用した高分子くりこみ群分子動力学(RMD : Renormalized Molecular Dynamics)法を開発を行った。この手法は、MD法で計算される巨視的な現象を相似に保ちつつ、粒子数を粗視化することで計算効率の飛躍的な向上を可能とする。本報では、高分子MD法のくりこみ群変換則の導出と、導出した変換則を用いた特異流れの一つであるバラス効果の解析結果について報告する。

2 高分子くりこみ群分子動力学法

2.1 高分子くりこみ群変換則

高分子は、モノマーと呼ばれる分子が共有結合によって1次元的に長くつながってできた紐状の分子である。モノマー

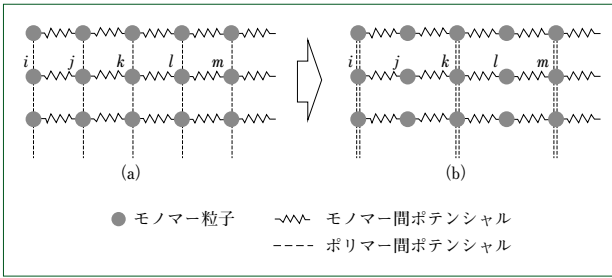


図1 ポテンシャルムービング
Potential Moving

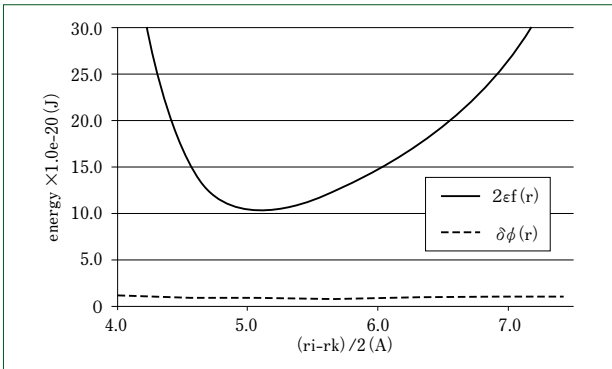


図2 くりこみ後のポテンシャル
Renormalized potential

の数は数百から数万、時として数千万にもなることがあり、一本の紐状のものをポリマーと呼び、ポリマーの中に含まれるモノマーの数を重合度という。

これまで我々は単原子に対し、くりこみ群の考え方を適用して変換則を導出している⁽⁶⁾。高分子へ適用する場合、単原子と変換則が異なるものとして、共有結合のポテンシャル、ポリマー数および重合度があげられる。

共有結合ポテンシャルを $\sim\sim\sim$ で、ポリマー間ポテンシャルを $----$ で表したものを図1(a)に示す。粒子*j*を粗視化することを考えると、Potential Moving⁽⁷⁾の方法により、図1(b)に示すようにポリマー間のポテンシャルを除くことができる。これより、粒子*j*の粗視化において1次元的に考えることができ、これまでのくりこみ群の考え方を適用できる。

粒子*i*, *k*が作る粒子*j*に対するCageポテンシャルは、

$$\begin{aligned} \phi(r_{i-j}) + \phi(r_{i-k}) &= \phi\left(\frac{r_i - r_k}{2} + \frac{r_i + r_k - 2r_j}{2}\right) + \phi\left(\frac{r_i - r_k}{2} + \frac{r_i + r_k - 2r_j}{2}\right) \\ &= 2\left[\phi\left(\frac{r_i - r_k}{2}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n!} \phi^{(2n)}\left(\frac{r_i - r_k}{2}\right) x_j^{2n}\right] \dots (1) \\ x_j &= \frac{r_i + r_k - 2r_j}{2} \end{aligned}$$

と表せる。積分変数 r_j について積分を実行する。粒子の直径を d とし、

$$\begin{aligned} \int_{r_i-d}^{r_i+d} dr_j \exp\left[-\beta\left\{\phi(r_{i-j}) + \phi(r_{i-k})\right\}\right] &= \exp\left[-2\beta\phi\left(\frac{r_i - r_k}{2}\right) - \beta\delta\phi\right] \\ \delta\phi &= -\beta^{-1} \log\left[\int_{r_i-d}^{r_i+d} dx_j \exp\left\{-2\beta\sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{2n!} \phi^{(2n)}\left(\frac{r_i - r_k}{2}\right) x_j^{2n}\right\}\right] \dots (2) \end{aligned}$$

これより、くりこみ後のポテンシャルは、 $2\phi\left(\frac{r_i - r_k}{2}\right) + \delta\phi$ の

表1 くりこみ群変換則
Renormalization group transformation

	単原子	高分子
ポテンシャル ϕ'	$\lambda^d \phi(r/\lambda)$	$\lambda^d \phi(r/\lambda)$
運動量 p'	$p\lambda^d$	$p\lambda^d$
座標 q'	q	q
質量 m'	$m\lambda^d$	$m\lambda^d$
粒子数 $N'(N'_m + N'_p)$	N/λ^d	N/λ^d
重合度 N'_m	—	N_m/λ
ポリマー数 N'_p	—	N_p/λ^{d-1}

表2 解析条件
Analysis conditions

m	g/mol	42.3
ϵ/k_B	K	443.0
σ	m	5.3×10^{-10}
k	N/m	6.53×10^{-1}
R_0	m	7.95×10^{-10}
T	K	443.0
N_m		64
N_p		1000

の関数の重ね合わせとなる。

高分子のポテンシャルとして Kremer Grestモデル⁽⁸⁾を用いて数値積分を実行し、2つの関数を計算した。図2に、その結果を示す。また、ポテンシャル関数を次に示す。

$$\begin{aligned} \phi(r) &= U^{ch}(r) + U^{LJ}(r) \\ U^{ch}(r) &\begin{cases} -\frac{1}{2} kR_0^2 \ln\left[1 - \left(\frac{r}{R_0}\right)^2\right] & r \leq R_0 \\ \infty & r > R_0 \end{cases} \dots (3) \\ U^{LJ}(r) &\begin{cases} 4\epsilon\left[(\sigma/r)^{12} - (\sigma/r)^6 + \frac{1}{4}\right] & r \leq 2^{1/6}\sigma \\ 0 & r > 2^{1/6}\sigma \end{cases} \end{aligned}$$

図2から、 $\delta\phi$ の変化量は ϕ に比べて小さく、無視できることが確認できる。

これにより、共有結合ポテンシャル変換則は、

$$\phi' = 2\phi\left(\frac{r_i - r_k}{2}\right) \text{とすることができる。}$$

ポリマー間ポテンシャルについてはLJ(Lennard-Jones)ポテンシャルを用いており、同様の結果が得られることを確認している⁽⁶⁾。

また、単原子と異なりポリマー数 N_p と重合度 N_m が存在する。高分子鎖は1次元的に広がることから、明らかに $N'_p = N_p/2$, $N'_m = N_m/4$ となる。

以上から、求めた変換則を表1に示す。単原子は参考文献(5)の変換則である。ここで、 d は次元、 λ はくりこみ回数を n とすると、 $\lambda = 2^n$ と計算される。

2.2 検証

次に、くりこみ群変換則の検証としてくりこみ前後で粘度のひずみ速度依存性を確認した。図3に示すような立方体を考える。立方体の底辺を固定し、上辺に平行な力Fを加え、

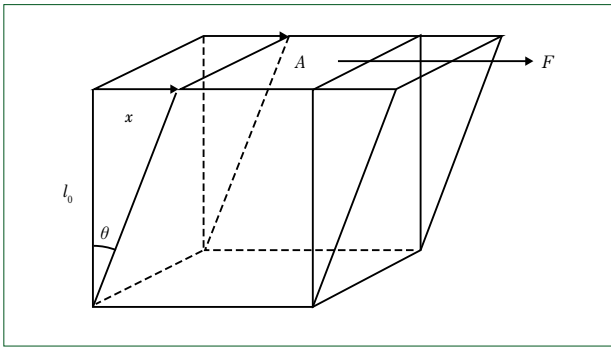


図3 せん断変形
Shear deformation

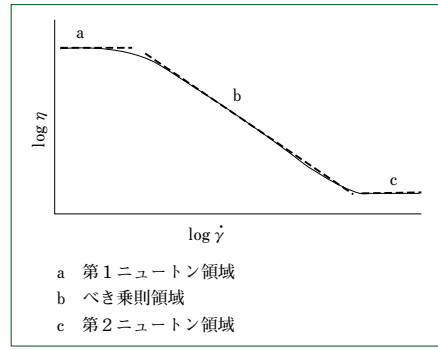


図4 粘度とひずみ速度の関係
Relationship between viscosity and strain rate

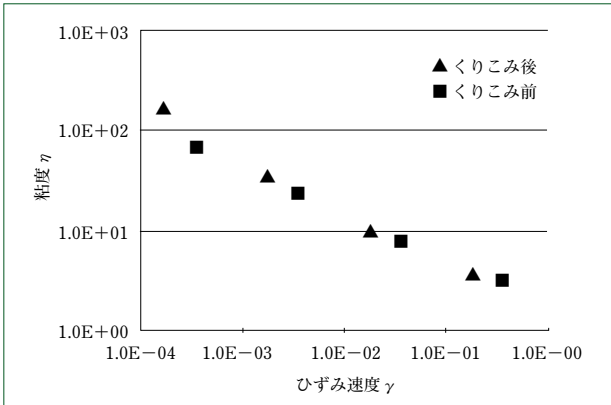


図5 粘度のひずみ速度依存性
Relationship between viscosity and strain rate

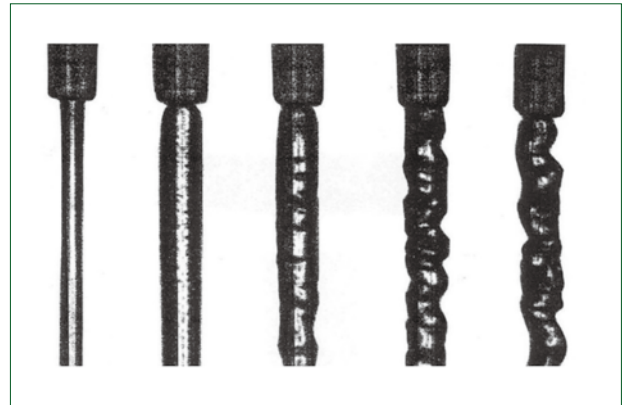


図6 バラス効果による融液損傷
Melt fracture by Barus effect

高さを変えずに変形させることをせん断変形といい、 $\gamma = x/l_0$ をせん断ひずみ、 $\sigma = F/A$ をせん断応力という。

流体の場合、せん断応力を加えると瞬間的に一定のひずみ速度が生じ、応力を取り去るとひずみが回復することなく一定にとどまる。変形量 x は時間に対して $x = v_0 t$ となり、流体中には v_0/l_0 の速度勾配が生じる。このとき速度勾配はせん断速度

$$\dot{\gamma} = dy/dt \dots\dots\dots (4)$$

に等しくなる。このときひずみ速度と応力の比を粘度といい次の式で定義される。

$$\eta = \sigma / \dot{\gamma} \dots\dots\dots (5)$$

ひずみ速度と応力に比例関係が成立するような物体をニュートン流体と呼ぶ(粘度一定)。それに対し高分子などの非ニュートン流体の場合、粘度はひずみ速度により変化する。

図4に、高分子材料の場合の粘度をひずみ速度に対して両対数プロットしたグラフを示す。特徴として、ひずみ速度が低い領域で一定値 $\eta(0)$ になること、べき乗則 $\eta(\dot{\gamma}) = a\dot{\gamma}^{-n}$ が広い範囲にわたって良い近似になること、ひずみ速度が高い領域で再び一定値 $\eta(\infty)$ になることがあげられる。 $\eta(0)$ を第1ニュートン粘度、 $\eta(\infty)$ を第2ニュートン粘度と呼ぶ。このひずみ速度依存性は高分子のからみ合いの状態が大きく影響しており、くりこみに対して不変である必要がある。

図5に、導出したくりこみ群変換則を用いて粘度のひずみ速度依存性を計算した結果を示す。比較として、くりこみ群変換前の結果を■でプロットしている。計算手法は、SLLOD法⁽⁶⁾を用いた。また、シミュレーション時の解析条

件を表2に示す。 ϵ 、 σ 、 k 、 R_0 は、Kremer Grestモデルのパラメータである。

図5より、くりこみ前後で粘度のひずみ速度依存性に変化はなく、相似な結果が得られることが確認できた。これにより、くりこみに対して高分子流動は、相似な結果を与えていることが示された。

3 特異流れの解析

高分子特有の流動現象として、代表的なものにバラス効果(Barus effect)(図6左から二つ目)があげられる。これは粘弾性液体が細管から噴出する際に、液体径が細管径よりも大きくなる現象である。細管内で速度のひずみが生じることでひずみ方向に高分子鎖が伸長することが要因であると考えられている。伸長した高分子は、ひずみが解消されると張力により縮もうとする。これにより流動と垂直な方向に応力が生じることになる。このように高分子のミクロな状態がマクロな現象に影響を与えており、現在ではミクロな現象とマクロな現象をつなぐ手法が確立していないことから、シミュレーションで再現した報告はない。もし、くりこみ群変換則を正しく導くことができれば、ミクロな挙動をマクロな挙動へくりこむことができ再現が可能となる。

図7に、解析モデルおよび解析条件を示す。実験値との比較を行うべく、高分子材料や細管半径 D 、温度 T 、フルード数 Fr の値は、参考文献⁽¹⁾の条件と一致させた。材料はポリスチレン(PS: Polystyrene)を用いており、Kremer Grestモデルのポテンシャルパラメータは $\sigma = 9.7(\text{\AA})$ 、 $m = 364(\text{g/mol})$ 、 $\epsilon/k_B = 490(\text{K})$ 、 $k = 30.0 \epsilon/\sigma^2$ 、 $R_0 = 1.5 \sigma$ とした。無次元数

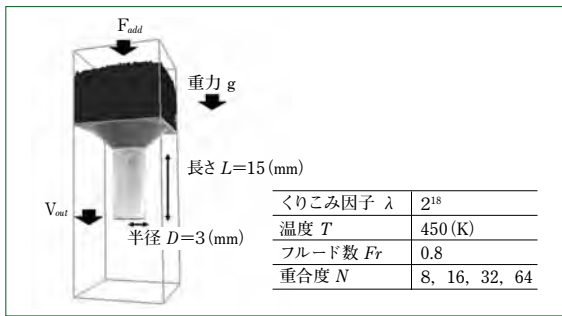


図7 解析モデル
Analysis model

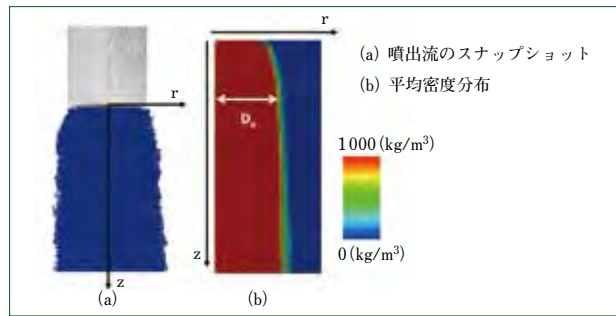


図8 解析結果(重合度64)
Analysis result for polymerization degree 64

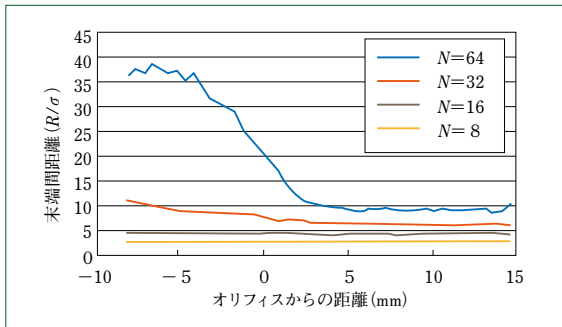


図9 R_z のz方向分布
z directional distribution of R_z

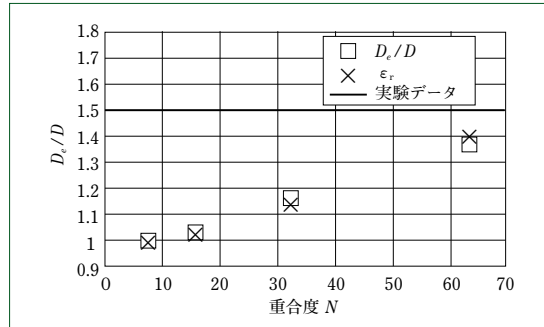


図10 D_e/D の重合度依存性
Influence of polymerization degree, N , on D_e/D

であるフルード数 Fr の特徴長さは細管半径 D 、特徴速さは V_{out} とした。押出力 F_{add} は、噴出速度 V_{out} が設定値となるよう調節した。これらの解析条件のもと、重合度 N を変えた解析を行った。

図8に、重合度64の解析結果を示す。図8(a)は平衡時のスナップショット、(b)は細管中心からの距離を横軸にとったときの密度分布を示している。(b)から噴出流の半径 D_e を求め、細管径との割合 D_e/D を計算すると1.37となり、バラス効果が定性的に再現できていることが確認できた。

また、バラス効果の要因は、細管内に発生するひずみ応力により、流動方向に配向した高分子鎖の張力が起因すると考えられている。配向を確認すべく、高分子の末端間距離 R_z のz方向の分布を算出した(図9)。 $N=64$ では、 $R_{z=0}=19.1\sigma'$ 、 $R_{z=5}=9.5\sigma'$ となっており、 $R_{z=5}/R_{z=0}$ を単純に材料のz方向のひずみ量と考えた場合、r方向のひずみ量 ϵ_r が計算できる。流体部分の密度分布に大きな変化がないことを考慮して算出した結果 $\epsilon_r=1.40$ となり、 D_e/D と近い値となった。これからr方向への膨張は、z方向に伸張した高分子鎖の収縮が起因していると結論付けることができる。

図10に、 D_e/D と ϵ_r の重合度依存性を示す。 $N=64$ 以外の重合度の場合も D_e/D と ϵ_r の値が近いことから同様の考察ができる。また、実線は実験値 D_e/D を示しており、重合度の増加に伴い誤差が小さくなっているのが分かる。重合度 $N=8,16$ においては、流径の膨張が見られなくなるが、今回の考察から管内で高分子鎖が配向していないことがその理由と考えられる。

検証として、くりこみ前後で粘度のひずみ速度依存性を確認したところ、相似な結果が得られ高分子が正しくくりこめたことを確認した。

(2) 求めたくりこみ群変換則を用いてマクロスケール解析を実施した。高分子のミクロな現象に起因する法線応力効果が要因として考えられているバラス効果の解析を実施したところ現象の再現に成功した。

今後は、さまざまなスケールや現象に対してシミュレーションを実施し、高分子RMD法の有用性を立証していく。

(参考文献)

- (1) N Sombatsompom, S Sergsiri. Die swell ratio of polystyrene melt from an electro-magnetized capillary die in an extrusion rheometer. Adv. Polym. Technol. 2004.
- (2) White, J.L. and Metzner, A.B., Development of Constitutive Equations for Polymer Melts and Solutions, J. Appl. Poly. Sci., 7, 1963, 1867-1889.
- (3) Oldroyd, J.G., Non-Newtonian Effects in Steady Motion of Some Idealized Elastico-Viscous Liquids, Proc. Poy. Soc., A245, 1958, 278-297.
- (4) Bernstein, B., Kearsley, E.A. and Zapas, L.J., A Study of Stress Relaxation with Finite Strain, Trans. Soci. Rheol., VII, 1963, 391-410.
- (5) 荻田克美, 次世代スーパーコンピューティングシンポジウム, 2008.
- (6) シミュレーション装置 特願2015-103371.
- (7) Leo P. Kadanoff: STATISTICAL PHYSICS Static, Dynamics and Renormalization (Wold Scientific. 1996), p206.
- (8) Grest GS, Kremer K. Molecular dynamics simulation for polymers in the presence of a heat bath. Phys Rev A 1986;33(5):3628.
- (9) D.J. Evans and G.P. Morriss, Statistical mechanics of non-equilibrium liquids. 1990, Academic press, New York.

4 むすび

- (1) くりこみ群の手法を高分子の分子動力学法に適用し、高分子くりこみ群分子動力学法を開発した。くりこみの

リアルタイム中性子モニタを用いたBNCT用QAシステムの開発

Development of QA system for BNCT

● 赤堀 清崇*
Kiyotaka AKABORI

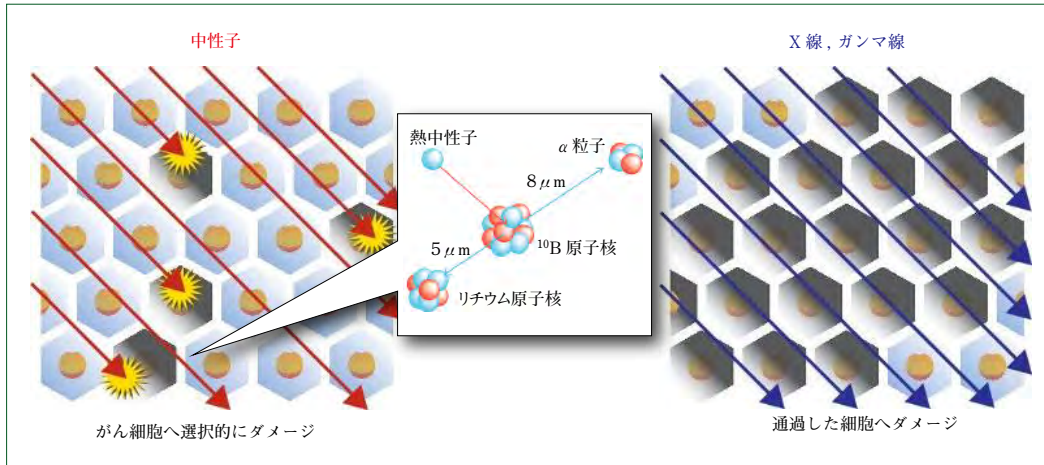


図1 BNCTの原理
Principles of BNCT

ホウ素中性子捕捉療法(BNCT: Boron Neutron Capture Therapy)は、ホウ素と中性子の核反応を利用してがん細胞へ選択的にダメージを付与する放射線療法である。当社は世界に先駆けて加速器BNCTシステムの開発に成功し、再発脳腫瘍と再発頭頸部がんに対する治療を開始している。BNCT治療の品質保証(QA: Quality Assurance)の一環として、正確に中性子フルエンスを測定することが求められる。測定には金の放射化法が一般的に用いられる。しかし、この手法は照射後の処理に多大な時間を要する。中性子フルエンス測定を簡便・高速化する目的で、当社ではリアルタイム中性子モニタシステムを利用したQAシステムを開発している。QAシステムの測定精度を評価すべく本システムで採用されているファイバ型検出器のバックグラウンドガンマ線に対する応答を測定し、ガンマ線によるノイズは弁別閾値を調整することで1%以下に抑えられることが分かった。

Boron neutron capture therapy (BNCT) is a radiation therapy that selectively destroys cancer cells using nuclear reactions between boron atoms and neutrons. Sumitomo Heavy Industries, Ltd. is the first to succeed in the development of an accelerator-based BNCT system, and a clinical trial for recurrent brain tumors and head and neck cancers is ongoing with our system. As a part of quality assurance (QA) of BNCT treatment, accurate measurements of neutron fluence are required. For measuring neutron fluence, the Au radio-activation method is commonly utilized. However, this method is quite time-consuming due to its post-irradiation process. In order to make neutron fluence measurements easy and fast, we are developing a QA system utilizing a real-time neutron monitoring system. To evaluate the accuracy of our QA system, we measured the response of the fiber-type detector employed in this system to background gamma rays and found that the gamma-ray noise could be reduced to less than 1% by adjusting the discrimination threshold.

1 まえがき

BNCTでは、腫瘍細胞に選択的に集積する¹⁰B化合物を患者に投与し、続いて中性子を患者に照射することで、腫瘍に集積した¹⁰Bと熱中性子との¹⁰B(n, α)⁷Li反応によって生じる荷電粒子により腫瘍細胞に対してエネルギーを付与する⁽¹⁾。図1に、その概要を示す。これら生成された荷電粒子は細胞1個分程度の飛程を有する。したがって、BNCTは従来行われている外部放射線治療とは異なり、個々の細胞内で生じる核反応により発生する荷電粒子を用いた細胞内照射であることから、腫瘍細胞のみを選択的に死滅させることができる。この治療方法の特長として、浸潤性および転移性の難治

性がんに対して有効であるということがあげられる⁽²⁾⁽³⁾。

これまでBNCT用の中性子源として研究用原子炉が用いられてきた。しかし、原子炉の利用は医療機関への併設を考えたとき、安全性、規模および昨今の社会情勢などの観点から現実的ではない。それゆえ、比較的小規模かつ扱いやすい加速器中性子源を利用したBNCTシステムへの期待は高く、精力的に開発が推進されている。

このようななか、当社は世界に先駆けて加速器BNCTの開発に成功し、国立大学法人京都大学(京都大学)および一般財団法人脳神経疾患研究所附属南東北BNCT研究センターで再発脳腫瘍と再発頭頸部の治療を開始した。図2に、加速器BNCTシステムの概要を示す。陽子加速装置(サイクロトロ

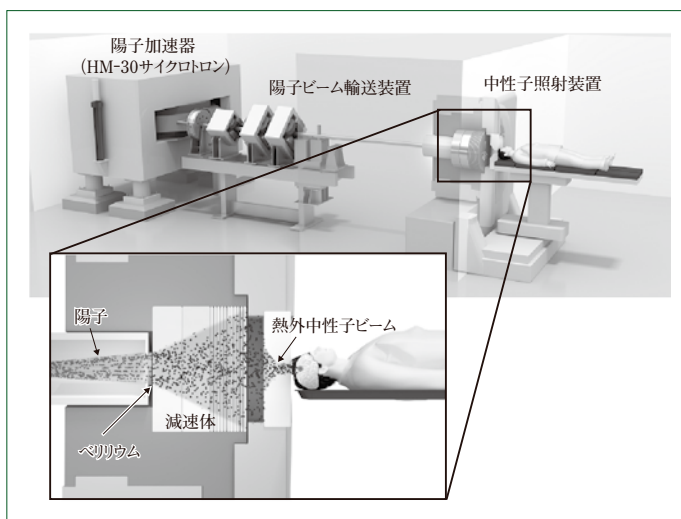


図2 加速器BNCTシステムの概要
Overview of accelerator-base BNCT

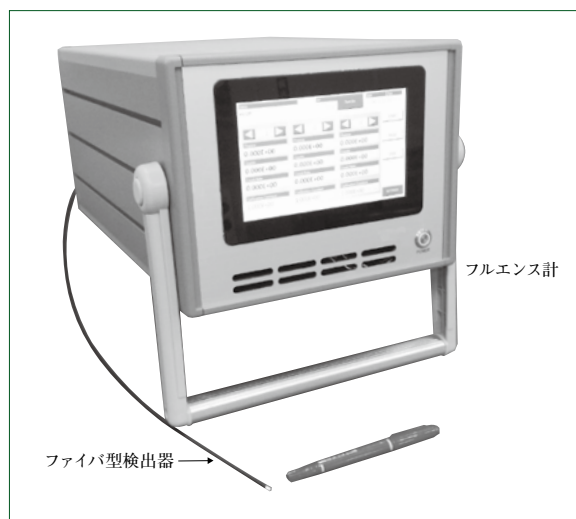


図3 中性子モニタのプロトタイプ
Prototype of neutron monitor

ン)によって30 MeVまで加速された陽子をベリリウム(Be)ターゲットへ照射し、速中性子を発生させる。その後、鉄やアルミニウム、フッ化カルシウムによって構成された減速体で増幅・減速し、治療に有効な熱外中性子に変換する。さらに、Liが添加されたポリエチレンで照準を合わせ患者へ照射する構成となっている。BNCTでは、治療線量の空間分布は ^{10}B 薬剤の体内分布でほぼ決まる。このことから、複雑なビーム輸送系やガントリーを持つ必要がなく、陽子線や重粒子線の施設に比べて非常にコンパクトであり、これらの施設に対して優位な特色となる⁽⁴⁾。

外部放射線治療において、治療品質の保証や安全管理の観点から、患者に照射されるビーム照射量を正確に制御することが重要である。放射線治療装置に搭載されている照射量モニタの指示値を使ってその制御を行う。医療機関における治療のQAプログラムの一環として、この照射量モニタの指示値と実際に出力される放射線量の関係が正常であることを確認する作業があり、この作業は毎日実施されることが推奨される⁽⁵⁾。BNCTにおいても照射量モニタ指示値と出力される中性子量(=中性子フルエンス)の関係を確認することが求められている。

現在、治療装置により出力される中性子ビームの強度(フルエンス、単位面積当たりに入射する中性子数)測定は、金線や金箔の放射化法を用いて行われる。 ^{197}Au は、中性子を照射することで ^{198}Au (半減期2.7日)となり、412 keVのガンマ線を放出する。放射化法は、照射した中性子数に応じて412 keVガンマ線強度が変化することを利用した手法である。しかし、この手法ではリアルタイムに中性子量を測定することはできず、照射された金試料から精度良く中性子フルエンスを得るには多大な労力を要する。このことから、日々の中性子フルエンス測定には、より簡便で高速な測定手法が強く望まれている。

2 BNCT用QAシステムの概要

当社では、簡便な中性子測定手法を提供すべく、リアルタイム中性子モニタと分布測定用の駆動系を含むBNCT用QAシステムを開発している。図3に、中性子モニタの試作機を

示す。中性子モニタはファイバ型検出器とフルエンス計から構成される。中性子検出手法として、 LiCaAlF_6 シンチレータの小片、光ファイバおよび光検出器を組み合わせたファイバ型検出器にパルスカウンティング法を適用した技術を採用している⁽⁶⁾。中性子検出器は一般的に中性子だけでなくガンマ線にも反応するが、この技術では、検出素子であるシンチレータの各辺を0.3 mm程度にすることで、中性子と比較してガンマ線に対する反応を小さくすることができる。光検出器からの電気パルス信号をパルスカウンティング法により処理し、得られた波高分布を解析する際に前述の反応の違いを利用することで、BNCT照射場で存在するガンマ線バックグラウンドと中性子を精度良く弁別できる。

フルエンス計の信号処理部では、ファイバ型検出器により出力されるアナログ信号をデジタル変換し、高速デジタル回路により信号波形を解析することで波高値を取得する。BNCT装置が生成する中性子場を中性子モニタで測定すると、1秒間に約10000回の検出イベントが発生する。各イベントから波高値を抽出し得られた波高値のリストをもとに波高分布を生成する。1秒間に1回の周期で生成された波高分布を解析することで、1秒間の中性子検出回数、つまり計数率を計算する⁽⁷⁾。ある測定における計数率を時間積分して得られた量がその測定時間内の中性子検出数となる。この中性子検出数を検出器の中性子に対する感度で補正することで中性子フルエンスが得られる。

前述の信号処理と波高分布解析は、X線治療で一般的に使われる電離箱線量計と比較すると複雑である。中性子モニタは、毎日短時間で中性子フルエンスを測定することを目的としていることから、これらの複雑な処理はユーザから隠蔽し、中性子フラックスと中性子フルエンスを分かりやすく表示することで電離箱線量計に近いユーザインターフェースを提供する。

3 本研究の目的

QAシステムの測定精度を決める重要な特性として、検出信号に含まれるガンマ線ノイズがあげられる。BNCT治療のような中性子場では必ずガンマ線が混在することから、ガン

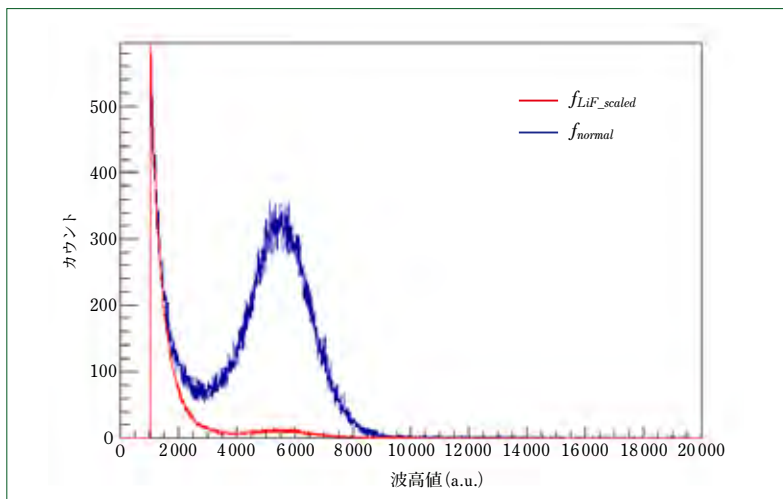


図4 測定で得られた波高分布 f_{LiF_scaled} (赤線)はスケール後の分布
Pulse height distribution obtained by using our neutron monitor
(f_{LiF_scaled} (red) is the distribution after scaling)

マ線によるノイズは測定精度に大きく影響する。本システムでは、前述のように波高分布を解析することで中性子とガンマ線を弁別する。この解析では、波高分布に含まれる中性子ピークを検出した後、中性子とガンマ線を弁別する目的で弁別閾値を決定する。弁別閾値より高い波高値を持った検出信号を中性子検出による信号とみなし、弁別閾値より低い波高値を持った検出信号はガンマ線検出による信号とみなす。しかしながら、100%の精度で弁別するには実効的な検出効率を犠牲にしなければならない。要求される統計精度とガンマ線ノイズによる測定精度の両方を同時に満たすには、弁別閾値を最適な値に設定することが求められる。そこで、本研究ではガンマ線ノイズと弁別閾値の関係を定量的に評価した。

4 ガンマ線ノイズの評価方法

BNCT治療装置が生成する中性子場はガンマ線と中性子の混在場であることから、中性子モニタにより測定される検出数はガンマ線と中性子の検出数の合計で与えられる。

$$R_{total} = R_{\gamma} + R_n$$

ここで、 R_{γ} はガンマ線の検出数、 R_n は中性子の検出数である。

ガンマ線ノイズは R_{γ}/R_{total} で定義される。 R_{γ} の測定にはファイバ型検出器の先端に着脱可能な⁶LiF中性子フィルタを使用する。この中性子フィルタは厚み1.5mmで、ファイバ型検出器先端の外周を覆うチューブ状である。このフィルタは中性子を効率良く吸収するが、ガンマ線にはほとんど影響を与えない。したがって、フィルタの有無による測定値の差は、検出素子における中性子場強度の差となる。

まず、中性子フィルタが装着されていない状態でファイバ型検出器先端に中性子ビームを照射する。このとき得られる波高分布を f_{normal} と定義する。次に、中性子フィルタを装着した状態で中性子ビームを照射する。このとき得られる波高分布を f_{LiF} と定義する。これら2つの波高分布から次のような解析を行い、 f_{normal} に含まれるガンマ線のみの波高分布 f_{γ} と中性子のみの波高分布 f_{n_scaled} を求める。

- ① f_{normal} のガンマ線ののみと思われる領域、 $x_{\gamma_min} \sim x_{\gamma_max}$

を設定する。

- ② 次に示す式のように d_{γ} と α を定義し、イタレーションにより d_{γ} を最小にする $\alpha = \alpha_{opt}$ を求める。ここで $f_{LiF_scaled} = \alpha_{opt} \cdot f_{LiF}$ と定義する。

$$d_{\gamma} = \int_{x_{\gamma_min}}^{x_{\gamma_max}} (f_{normal} - \alpha \cdot f_{LiF}) dx$$

- ③ f_{normal} と f_{LiF_scaled} の差分を f_n として求める。これを中性子のみのスペクトルとみなす。
- ④ ①と同様に中性子ののみと思われる領域、 $x_{n_min} \sim x_{n_max}$ を設定する。
- ⑤ ②と同様に d_n と β を定義し、イタレーションにより d_n を最小にする $\beta = \beta_{opt}$ を求める。ここで $f_{n_scaled} = \beta_{opt} \cdot f_n$ と定義する。

$$d_n = \int_{x_{n_min}}^{x_{n_max}} (f_{normal} - \beta \cdot f_n) dx \dots\dots\dots (1)$$

これによって閾値 $x_{threshold}$ 以上の総検出レート R_{total} は、

$$R_{total} = \int_{x_{threshold}}^{\infty} f_{\gamma}(x) dx + \int_{x_{threshold}}^{\infty} f_{n_scaled}(x) dx$$

と表すことができる。ここで、

$$R_{\gamma} = \alpha \cdot \int_{x_{threshold}}^{\infty} f_{\gamma}(x) dx, R_n = \int_{x_{threshold}}^{\infty} f_{n_scaled}(x) dx$$

となる。これらの式より、ガンマ線ノイズ R_{γ}/R_{total} が求められる。

⁶Liの中性子に対する吸収断面積は大きいことから、中性子フィルタは中性子ビームを強く吸収する。 f_{LiF} の測定時間は、中性子ピーク領域で十分な統計を得るべく f_{normal} の測定時間より長く設定した。

5 結果

中性子フィルタが装着されていない状態で測定した波高分布 f_{normal} を図4(青線)に示す。信号処理回路での閾値を波高値1024に設定したので、その値より低い波高値はすべて解析

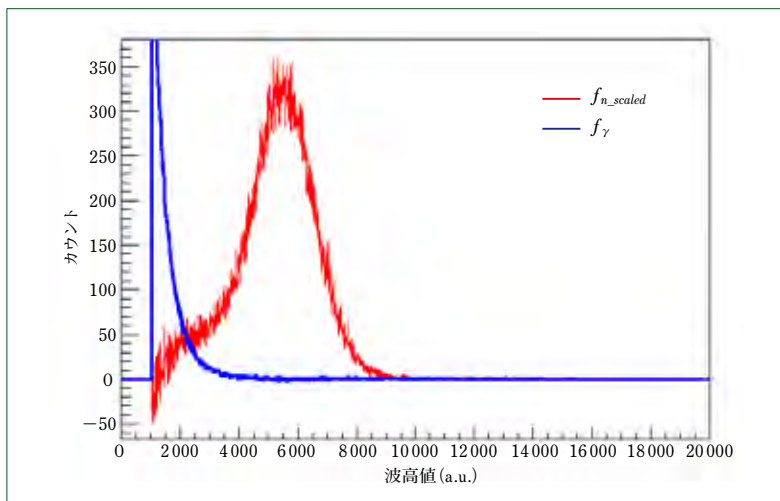


図5 解析で得られた中性子のみの波高分布(赤線)とガンマ線のみの波高分布(青線)
Neutron-only (red) and gamma-ray-only (blue) pulse height distributions

から除去された。波高値6000を中心に中性子検出イベントによる中性子ピークが見られる。波高値2500以下の指数関数的な部分は主にガンマ線検出イベントに起因する。したがって、ガンマ線と中性子を弁別する弁別閾値を十分に高い値に設定することで、システムが算出する中性子フルエンスの測定精度を高くできる。ただし、弁別閾値を高く設定しすぎると、システムの実効検出効率が低くなり統計精度が劣化する。このことから、閾値は波高値2500から6000の間に設定することが好ましい。

中性子フィルタが装着された状態で測定した波高分布 f_{LiF} を f_{normal} に対してスケーリングした結果、得られた波高分布 f_{LiF_scaled} を図4(赤線)に示す。中性子フィルタにより中性子強度がガンマ線強度に対して相対的に減衰されたことから、中性子ピークの面積は f_{normal} におけるそれより小さくなった。測定時間は十分に長く設定したので統計精度は良い。 f_{normal} と f_{LiF_scaled} の差分が中性子のみの波高分布 f_n である。図5に、 f_n を式(1)に従ってスケーリングした f_{n_scaled} と、ガンマ線のみの波高分布 f_γ を示す。図5から分かるように大部分のガンマ線検出による信号の波高値は4000以下である。また、中性子のみによる波高分布はピーク中心に対して非対称であり、低波高値側に肩を持つ。これは壁効果によるものである⁶⁾。

図4の f_{normal} と、図5の f_γ の波高分布から計算したガンマ線ノイズと弁別閾値の関係を表1に示す。ガンマ線ノイズは R_γ/R_{total} で定義される。表1から分かるように、弁別閾値を高くするとガンマ線ノイズが減少する。今回の実験では、弁別閾値を3388に設定することでガンマ線ノイズを1%に抑えられることが分かった。 f_{n_scaled} を積分したときに得られるカウント数が f_{normal} 測定時の中性子と検出器の反応回数である。弁別閾値が3388の場合、ほとんど中性子検出イベントが実効中性子カウントに含まれることから、この弁別閾値はガンマ線ノイズによる測定精度の劣化を抑えつつ統計精度を十分に確保できる。開発したQAシステムには、この結果にもとづいて弁別閾値を最適化するアルゴリズムを実装した。

表1 弁別閾値とガンマ線ノイズの関係
Relationship between discrimination threshold and gamma-ray noise

弁別閾値(波高値)	ガンマ線ノイズ(%)
1278	14.9
1489	10.4
1700	7.3
1911	5.2
2122	3.8
2333	2.9
3388	1.0
4443	0.7
4971	0.8

リアルタイム中性子モニタを応用してQAシステムを開発した。

- (2) 中性子フィルタと加速器中性子を用いてQAシステムのガンマ線ノイズを評価した。弁別閾値を調整することでガンマ線ノイズを1%以下に抑えることができた。
- (3) 弁別閾値を最適化することで統計精度とガンマ線ノイズに対する要求を同時に満たすことが示唆された。
- (4) 今後は、QAシステムの中性子フルエンス測定に関する諸特性を把握すべく、繰返し性、中性子場擾乱および位置ズレによる誤差を含んだシステムの詳細評価を実施していく。

(参考文献)

- (1) 財団法人医用原子力技術研究振興財団 中性子捕捉療法推進特別委員会 日本中性子捕捉療法学会, BNCT基礎から臨床応用まで, 財団法人医用原子力技術研究振興財団, 2011.
- (2) M. Suzuki, Y. Sakurai, S. Hagiwara, S. Masunaga, Y. Kinashi, K. Nagata, A. Maruhashi, K. Ono, First attempt of boron neutron capture therapy (BNCT) for hepatocellular carcinoma, Jpn. J. Clin. Oncol., 37, 5, 2007.
- (3) M. Suzuki, Y. Sakurai, S. Masunaga, Y. Kinashi, K. Nagata, A. Maruhashi, and K. Ono, Feasibility of boron neutron capture therapy (BNCT) for malignant pleural mesothelioma from a viewpoint of dose distribution analysis, Int. Radiat. Oncol. Biol. Phys., 66, 5, 2006.
- (4) H. Tanaka, Y. Sakurai, M. Suzuki, S. Masunaga, Y. Kinashi, G. Kashino, Y. Liu, T. Matsumoto, S. Yajima, H. Tsutsui, A. Maruhashi, K. Ono, Characteristic comparison between a cyclotron-based neutron source and KUR-HWNIF for boron neutron capture therapy, Nucl. Instr. and Meth. B, 267, 2009.
- (5) E. Klein, J. Hanley, J. Bayouth, F. Yin, W. Simon, S. Dresser, C. Serago, F. Aguirre, L. Ma, B. Arjomandy, C. Liu, C. Sandin, and T. Holmes, Quality assurance of medical accelerators: Report of AAPM Radiation Therapy Task Group No. 142, Med. Phys. 36, 2009.
- (6) K. Watanabe, Y. Kawabata, A. Yamazaki, A. Uritani, T. Iguchi, K. Fukuda, and T. Yanagida, Development of an optical fiber type detector using a Eu:LiCaAlF6 scintillator for neutron monitoring in boron neutron capture therapy, Nucl. Instr. And Meth. A, 802, 2015.
- (7) K. Taki, F. Sakai, K. Akabori, Y. Aoki, Development of real-time neutron monitor for BNCT, 住友重機械技報, no. 189, 2016.

6 むすび

- (1) 日々の中性子フルエンス測定を簡便化・高速化すべく

住友重機械技報第194号発行に当たり

住友重機械技報第194号をお届け致します。

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

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

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

2018年4月

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

住友重機械工業株式会社

技術本部 技報編集事務局

(宛先) _____ 住友重機械工業(株) 技術本部 技報編集事務局 行 FAX 横須賀 046 - 869 - 2358	(発信元) _____ 貴組織名 担当部署 氏 名 TEL No. FAX No.
--	--

住友重機械技報第194号の送付先の確認と読后感などの件

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

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

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

キ
リ
ト
リ
線

主要営業品目

変減速機、インバータ

●機械式減速機：[同心軸]サイクロ減速機，サイクロギヤモータアルタックス，精密制御用サイクロ減速機，コンパワ―遊星歯車減速機，[平行軸]パラマックス減速機，ヘリカルボディボックス，プレストギヤモータ，[直交軸]パラマックス減速機，ハイポニック減速機，アステロ直交ギヤヘッド，ベベルボディボックス，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―，パラマックス，ボディボックス，プレスト，ハイポニック減速機，アステロ，ライタックス，HEDCON，バイエルおよびバイエル・サイクロは，住友重機械工業株式会社の登録商標です。

プラスチック加工機械

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

レーザ加工システム

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

半導体・液晶関連機器

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

環境施設

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

加速器，医療機器，精密機器，極低温機器，超電導磁石

●イオン加速器：サイクロトロン，ライナック，シンクロトロン ●電子線照射装置 ●医療機器：PET診断用サイクロトロン・CYPRIS，標識化合物合成装置，陽子線治療システム ●冷凍機：パルスチューブ冷凍機，4KGM 冷凍機，MRI 用冷凍機，クライオポンプ ●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 は，住友重機械工業株式会社の登録商標です。

物流・パーキングシステム

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

金属加工機械

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

運搬荷役機械

連続式アンローダ，港湾荷役クレーン(コンテナクレーン，タイヤマウント式ジブクレーン，タイヤマウント式LLC)，トランスファクレーン，ジブクレーン，ゴライアスクレーン，天井クレーン，製鋼クレーン，自動クレーン，コイル搬送台車，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，コークス炉移動機械

船舶海洋

●船舶：油槽船，石油製品運搬船

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，住友重機械プロセス機器株式会社の登録商標です。

建設機械，フォークリフト

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

タービン，ポンプ

蒸気タービン，プロセスポンプ

その他

航空用機器，精密鑄造品，防衛装備品(各種機関銃，機関砲およびシステム)

※文章中のソフトウェア等の商標表示は，省略しております。

事業所

本社 〒141-6025 東京都品川区大崎2丁目1番1号(ThinkPark Tower)
関西支社 〒530-0005 大阪市北区中之島2丁目3番33号(大阪三井物産ビル)
中部支社 〒461-0005 名古屋市東区東桜1丁目10番24号(栄大野ビル)
九州支社 〒812-0025 福岡市博多区店屋町8番30号(博多フコク生命ビル)
田無製造所 〒188-8585 東京都西東京市谷戸町2丁目1番1号
千葉製造所 〒263-0001 千葉市稲毛区長沼原町731番1号
横須賀製造所 〒237-8555 神奈川県横須賀市夏島町19番地
名古屋製造所 〒474-8501 愛知県大府市朝日町6丁目1番地
岡山製造所 〒713-8501 岡山県倉敷市玉島乙島新湊 8230 番地
愛媛製造所 新居浜工場 〒792-8588 愛媛県新居浜市惣開町5番2号
西条工場 〒799-1393 愛媛県西条市今在家1501番地

技術研究所 〒237-8555 神奈川県横須賀市夏島町19番地
技術研究所 〒188-8585 東京都西東京市谷戸町2丁目1番1号(田無)
技術研究所 〒792-8588 愛媛県新居浜市惣開町5番2号(新居浜)

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

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

技報編集委員

委員	見上 孝一	委員	小松 幹生
	大西 良孝		天野 光昭
	平田 徹		岡林 明伸
	井上 千晶		幕田 啓二
	秋山 年春		秋元 慎介
	長部 洋介		小梁川 靖
	浅井 一浩		坂根 剛
	石川 賢治		石倉 武久
	諏訪 義和		長坂 勇希
	鈴木雄一郎		岩本 和也
		事務局	技術本部
		編集協力	(株)千代田プランニング

住友重機械技報

第194号 非売品

2018年4月10日印刷 4月20日発行

発行 住友重機械工業株式会社
〒141-6025 東京都品川区大崎2丁目1番1号
(ThinkPark Tower)
お問い合わせ電話 横須賀 046-869-2306
発行人 富田 良幸