

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

高精度粉末冶金成形技術の開発

研究開発等成果報告書

平成22年3月

委託者 関東経済産業局

委託先 財団法人さいたま市産業創造財団

目 次

第 1 章 研究開発の概要

1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2	研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	3
1-3	成果概要	8
1-4	当該プロジェクト連絡窓口	9

第 2 章 本論

2-1	21年度研究開発項目と実施体制	10
2-2	研究内容及び成果	11
①	成形技術の確立	11
①-1	高機能設備の開発	
①-2	原料充填方法の最適化	
①-3	CAEによるシミュレーション	
①-4	金型、ダイセットの最適化	
②	焼結条件の最適化	23
②-1	炉内雰囲気検討	
②-2	焼結温度、時間の最適条件検討	
③	試作品評価	
③-1	品質安定化の条件確立	24

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究開発の背景

自動車分野では、安全性、快適性を向上させるため電動自動化により運転者をサポートする機構を搭載した車種が増える傾向にある。これに伴いドライバビリティの確保はもとより、エネルギーの高効率化のためにも、構成部品には高機能、形状精度が要求されている。

粉末冶金法による部品製造工程は、金属粉末と副資材などの混合された原料粉末を金型内に充填し、上下からの加圧により加圧圧縮成形する。次に成形体を温度、時間、雰囲気ガスがコントロールされた炉内で焼結し所定の寸法、強度を得る。後工程の無い、高い寸法精度の部品を得るには、成形工程での寸法精度の確保が特に重要となる。

これまでの粉末冶金法では、製品の要求精度を満足するために切削、研磨などの追加工工程を行っている。その追加工費の割合は、平均して製品販売価格の約30%程度を占めており、製品の低コスト化に大きな負担になっている。

粉末冶金の特長であるニアネットシェイプによる材料の歩留まり低減、金型を利用した高品質、大量生産による低コストと言ったメリットが現状では十分に活かされておらず、自動車産業に見合うコストを達成することができない。粉末冶金法は、他の鍛造などの素形材工法と比較すると市場が狭く、粉末冶金の製造設備メーカーの開発が進んでいない一因となっている。

(2) 研究開発の目的

粉末冶金において最も重要な工程である成形技術の向上により、成形、焼結工程以外の切削、研磨の追加工程の削減を目指す。具体的には、粉末の金型への安定した充填方法、成形時の圧力、位置の詳細制御が可能であり、かつ結果をフィードバックさせ常に最適な条件で稼動する次世代成形機の開発を行う。これにより、成形方向に対して垂直方向の横穴も成形時に付与できる可能性も期待できる。

(3) 研究開発の目標

自動車分野では、パワーステアリング、オートスライドドア機構など駆動の電動化、自動化が進んでいる。その構造部品には高い形状精度が要求されるが、粉末冶金法で製造される部品では切削、研削等の後加工をして精度を確保しているのが現状である。そこで、粉末成形技術の高度化、高精度位置制御成形機の開発により、後加工を無くす事で製造工程の短縮、コスト削減を図り、粉末冶金部品の自動車産業市場への用途拡大を目指す。

そのために次の開発目標を設定する。

① 成形技術の確立

①-1 高機能設備の開発

成形時における加圧方向の高精度化を図るため、加圧プレートに圧力、位置の独立制御、フィードバック機構を搭載する。合わせて電動モータ、油圧等の動力のハイブリッド化による高速化を実現する。目標製品精度 $\pm 20\mu\text{m}$ 以下、分間成形個数10個を目指す。

①-2 原料充填方法の最適化

これまで粉末冶金での粉体供給の最適化について得られた基礎的知見を応用展開する。金型への安定した原料供給を達成するため、原料供給用フィーダーの形状、動作条件等の最適化により、重量ばらつき1%以下を目指す。

①-3 CAEによるシミュレーション

岩手大学笠場教授、及び、いわて金型技研では有限要素法、構造解析技術の研究実績がある。加圧成形時のひずみ、応力が最も少なくなるような成形条件を検討する。

①-4 金型、ダイセットの最適化

成形機への取り付け後に高精度の維持を目標とし、金型、ダイセットの組み立て時のクリアランスを $5\mu\text{m}$ 以下となるように各部品を作製する。また、高強度、耐磨耗性の特性をもつ金型材質、加工方法も含め検討する。

② 焼結条件の最適化

②-1 炉内雰囲気の詳細の検討

焼結時の寸法の変化の影響を最も受けにくい炉内の最適な雰囲気ガスの検討を行う。

②-2 焼結温度、時間の最適条件の検討

焼結後の寸法精度を向上させるため、焼結温度、時間の最適条件を確立する。

金型寸法に対する製品寸法の変化率を指標とし、0.1%以下を目指す。

③ 試作品評価

③-1 品質安定化の条件確立

成形条件、焼結条件の最適化により、製品寸法のばらつきを圧縮方向1%以下を目標として、生産性を考慮に入れ品質の安定化を目指す。

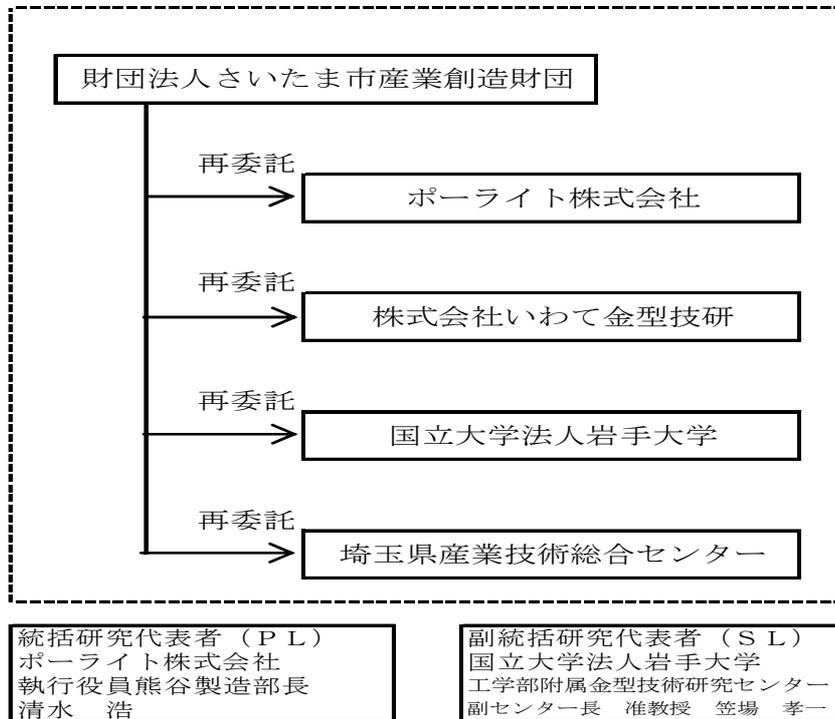
④ 研究全体の統括、プロジェクトの管理運営

事業管理者として事業の円滑な進行管理とともに、再委託先との連絡調整、機械装置の購入・保守管理、研究推進委員会の開催、報告書作成などを担当する。

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

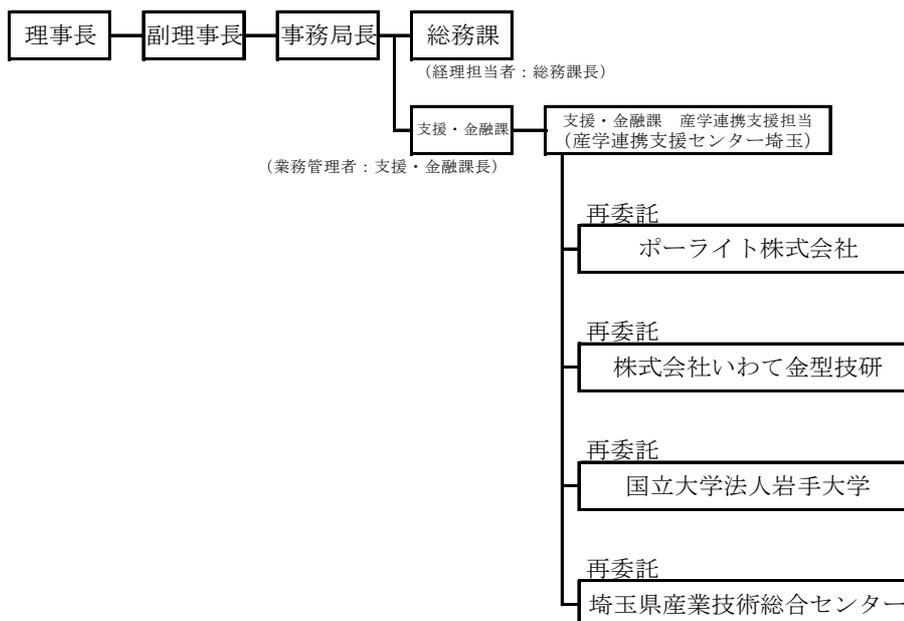
1) 研究組織 (全体)



2) 管理体制

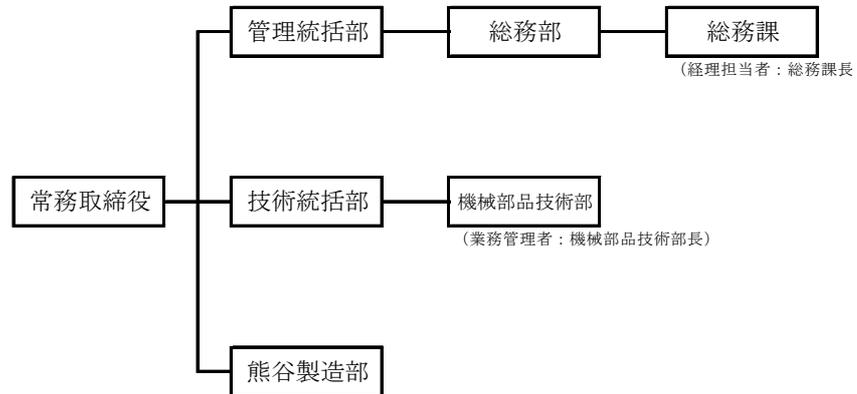
①事業管理者

財団法人さいたま市産業創造財団

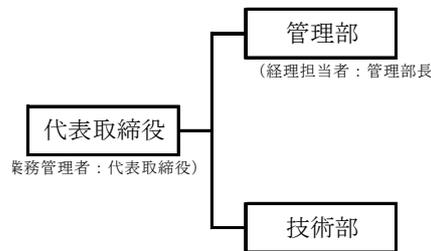


②再委託先

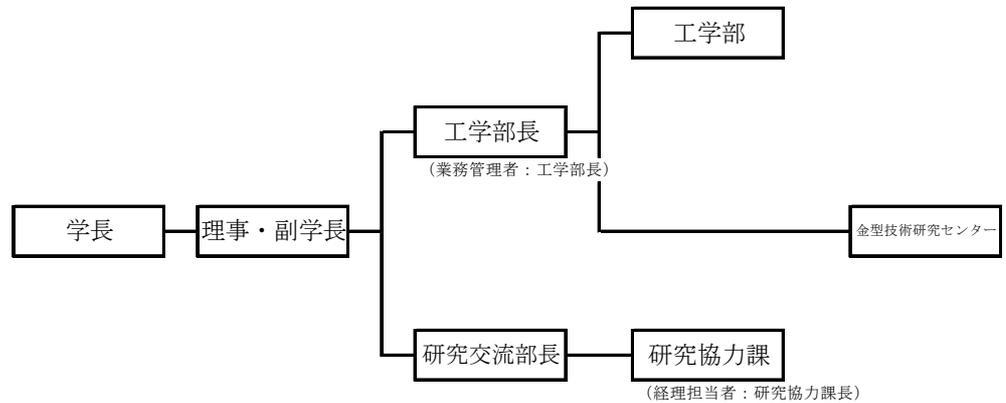
ポーライト株式会社



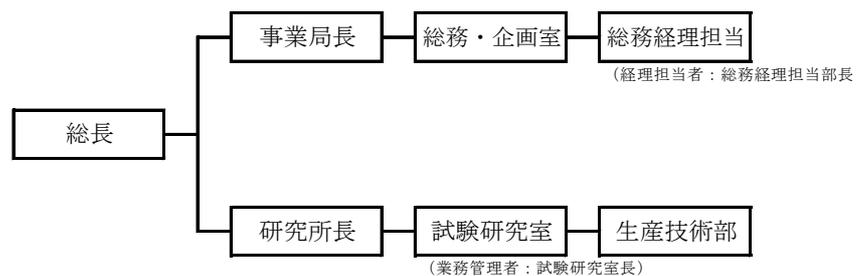
株式会社いわて金型技研



国立大学法人岩手大学



埼玉県産業技術総合センター



(2) 研究員及びプロジェクト管理員（役職・実施内容別担当）

【総括研究代表者（PL）】（プロジェクト管理員）

氏名	所属・役職
清水 浩	ポーライト株式会社 執行役員熊谷製造部長

【事業管理者】財団法人さいたま市産業創造財団
管理員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
佐々木 哲也	支援・金融課 主査	③
野本 剛司	支援・金融課 主任	③

【再委託先（研究員）】

ポーライト株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
清水 浩	執行役員熊谷製造部長	①～③
櫛田 一也	熊谷製造部 課長	①～③
森田 修司	熊谷製造部 生産技術係長	①-2、②
松田 浩二	技術統括部 機械部品技術部 副長	①-1、①-3 ②、③
小池 裕介	技術統括部 機械部品技術部 主任	①-2、①-4

株式会社いわて金型技研

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
田澤 潤	技術部 主任技師	①、③
千葉 洋光	技術部 技師	①、③

国立大学法人岩手大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
笠場 孝一	工学部附属金型技術研究センター 副センター長 准教授	①、③

埼玉県産業技術総合センター

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
大川 薫	研究所 試験研究室 生産技術部長	
島崎 景正	研究所 試験研究室 生産技術部 主任	
関根 俊彰	研究所 試験研究室 生産技術部 主任	

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

【事業管理者】

財団法人さいたま市産業創造財団

(経理担当者) 総務課長 恩田 一生

(業務管理者) 支援・金融課長 吉原 栄二

【再委託先】

ポーライト株式会社

(経理担当者) 総務部 総務課長 大嶋 伸吉

(業務管理者) 機械部品技術部長 島田 登

株式会社いわて金型技研

(経理担当者) 管理部長 佐々木 美和子

(業務管理者) 代表取締役 清水 友治

国立大学法人岩手大学

(経理担当者) 研究交流部 研究協力課長 渡邊 慎一

(業務管理者) 工学部長 堺 茂樹

埼玉県産業技術総合センター

(経理担当者) 総務企画室 総務経理担当部長 遠藤 治

(業務管理者) 試験研究室長 新井 尚機

(4) 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

高精度粉末冶金成形技術プロジェクト委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
清水 浩	ポーライト株式会社 執行役員熊谷製造部長	PL
笠場 孝一	岩手大学 工学部附属金型技術研究センター 副センター長 准教授	SL
櫛田 一也	ポーライト株式会社 熊谷製造部 課長	
森田 修司	ポーライト株式会社 熊谷製造部 生産技術係長	
松田 浩二	ポーライト株式会社 技術統括部 機械部品技術部 副長	
小池 裕介	ポーライト株式会社 技術統括部 機械部品技術部 主任	
田澤 潤	株式会社いわて金型技研 技術部 主任技師	
千葉 洋光	株式会社いわて金型技研 技術部 技師	
大川 薫	埼玉県産業技術総合センター 研究所 試験研究室 生産技術部長	
島崎 景正	埼玉県産業技術総合センター 研究所 試験研究室 生産技術部 主任	
関根 俊彰	埼玉県産業技術総合センター 研究所 試験研究室 生産技術部 主任	
佐々木 哲也	財団法人さいたま市産業創造財団 支援・金融課 主査	
野本 剛司	財団法人さいたま市産業創造財団 支援・金融課 主任	

高精度粉末冶金成形技術プロジェクト委員会 オブザーバー

氏名	所属・役職	備考
岩宮 保雄	財団法人埼玉県中小企業振興公社 コーディネータ	アドバイザー

(3) 試作品評価

製品の寸法、形状を詳細に確認する方法の一つとして、真円度測定機による測定を行った。



図3 真円度測定機

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

【事業管理者】

〒338-0002 埼玉県さいたま市中央区下落合5丁目4番3号
財団法人さいたま市産業創造財団 支援・金融課
主任 野本 剛司

【総括研究代表者】

〒360-0234 埼玉県熊谷市上江袋350番地
ポーライト株式会社
執行役員熊谷製造部長 清水 浩

第2章 本論

2-1 研究項目と実施体制

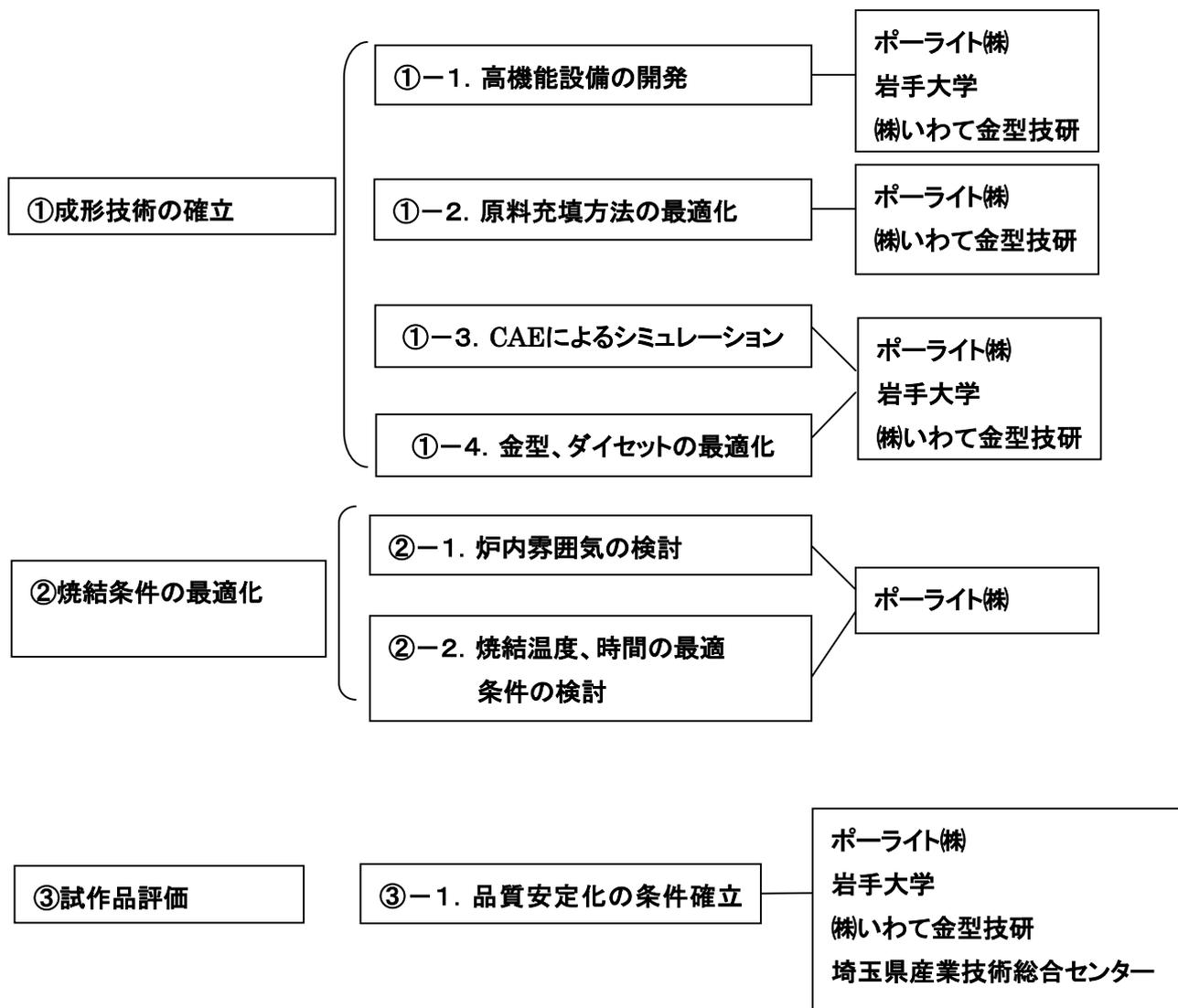


図4 開発項目と実施体系図

2-2 研究内容及び成果

①成形技術の確立

①-1 高機能設備の開発

粉末冶金成形用に広く使用されている成形機は、機械式クランクプレスが主流であり、上ラム部の動作がクランク角度を作動基準にしている機構が多い。本研究で開発した成形機は、上ラム部の動作をプログラムにより自由に設定することができる。制御方法も荷重または位置による管理が可能であり、製品形状に応じて様々な成形方法が選択できる。

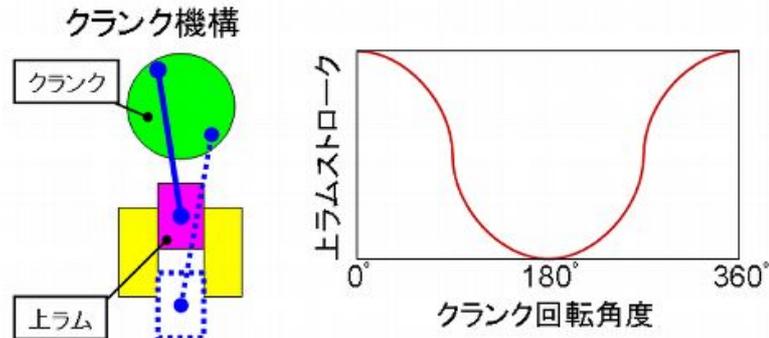


図5 クランク機構上ラム動作



図6 荷重、位置管理、操作パネル画面

成形機の主動力は油圧駆動であり、位置制御にはリニアスケールを採用している。成形においては、製品の重量および加圧方向の長さが精度に最も影響を与える為、充填、加圧工程の成形機の繰り返し精度が重要となる。そこで、充填時におけるダイの上昇位置、及び加圧における上ラムの下死点位置をリニアスケールによる位置制御に加え、機械的なストッパー機構を追加して精度を向上させた。



図7 ダイ充填ストッパー

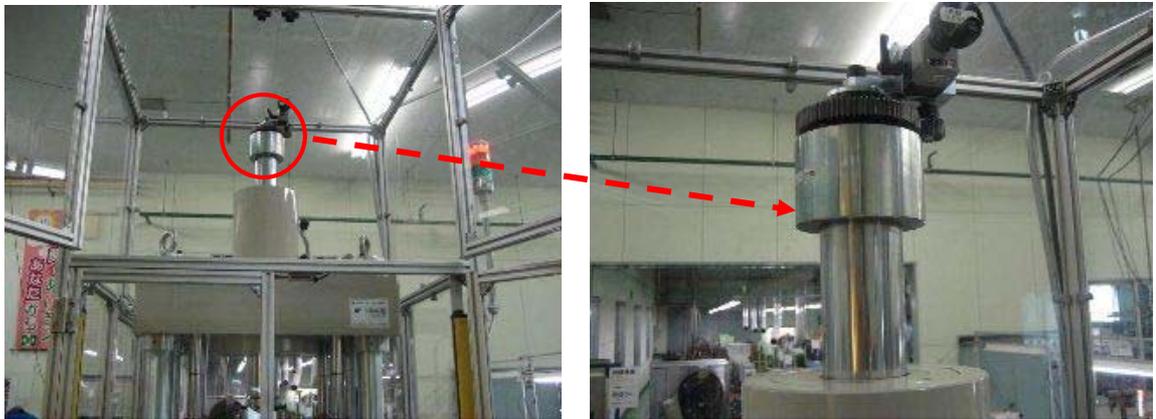


図8 上ラムストッパー

①-2 原料充填方法の最適化

原料を金型へ安定供給するため、ホッパー形状及びフィーダーボックス動作条件の最適化を行った。ホッパー形状は、ホッパー内に原料の滞留が起こらないように円筒形とし、 30° のホッパー角度形状とした。



図9 ホッパー形状

ホッパーに投入された原料は、フィーダーボックス内に一時充填され、往復シリンダーにより金型上へ移動、充填を返す。そのため、フィーダーボックス内の原料状態を均一化することが重要である。そこで、ホッパーからフィーダーボックス内へ原料充填を常に安定化させるため、ホッパー下部に振動装置を取り付けた。これにより、ホッパー内ラットホール、ブリッジの発生を防ぎ、安定した流動性を保つことができた。

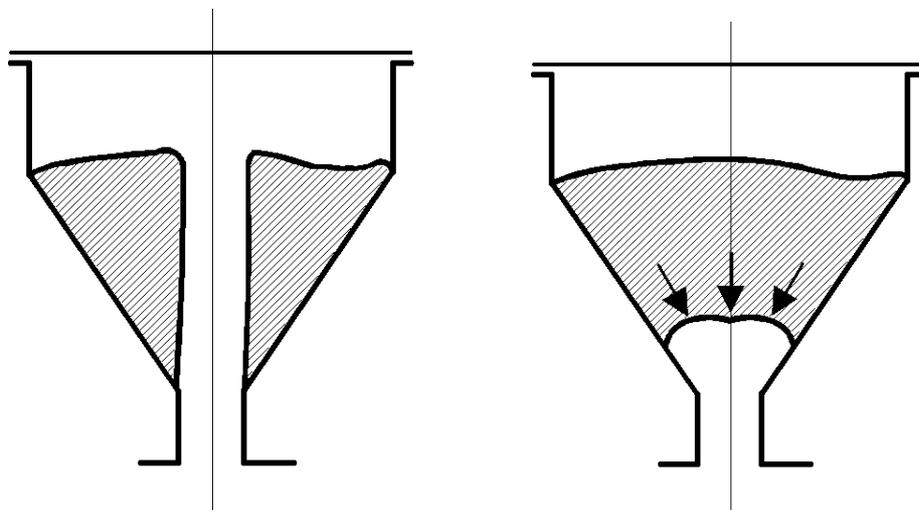


図 1 0 ホッパー内のラットホール、ブリッジ

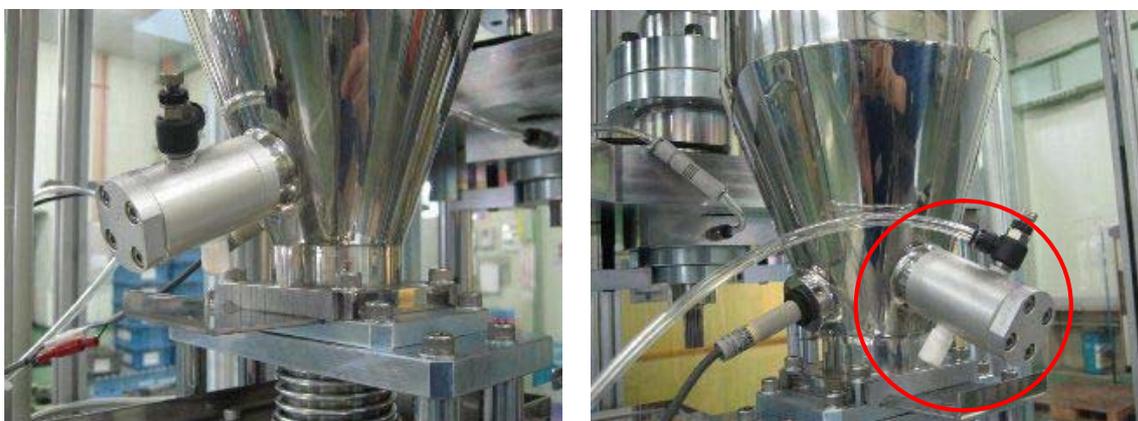


図 1 1 ホッパー下部振動装置

フィーダーボックスの内側の形状は、原料の滞留、偏析防止のため形状を円形とした。金型とフィーダーボックスの摺動面には、シーリング材としてテフロンリングを採用する事で、摺動性および密着性を向上させ、すりきり時に発生する粉漏れ低減を実現した。



図 1 2 フィーダーボックス形状、摺動面

フィーダーボックスの動作はシリンダーにより位置を任意に変更できるようにした。速度については、往復動作における行き速度、帰り速度をそれぞれ変更可能な機構とし、往復回数はプログラムで設定できる。多くの組み合わせによるフィーダー動作パターンを作成することができた。



図 1 3 フィーダーボックス動作シリンダー

原料充填の安定化を確認するため、図 1 4 に示す製品の成形を行い、成形体の製品重量の測定をして重量ばらつきを評価した。

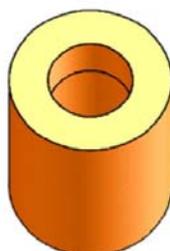


図 1 4 試験用製品

本実験に取り組む前に、連続成形による製品重量、全長の相関性を確認した。
結果を図15、図16、図17に示す。

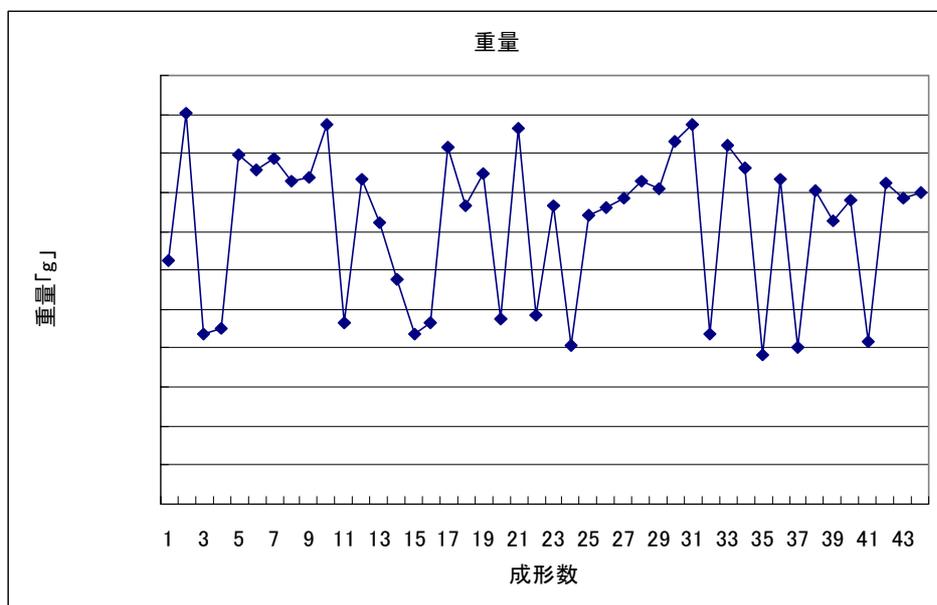


図15 連続成形における重量推移

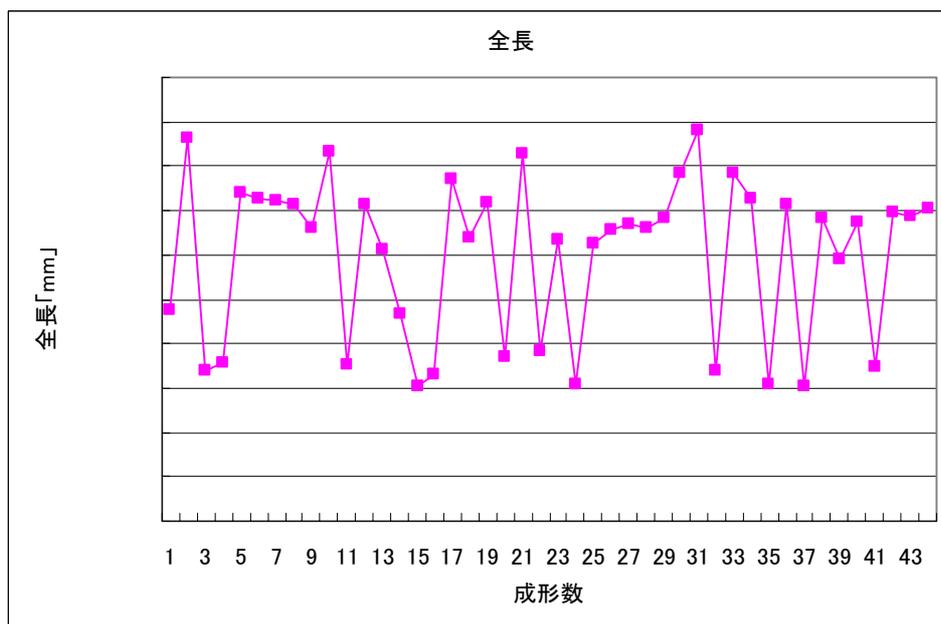


図16 連続成形における全長推移

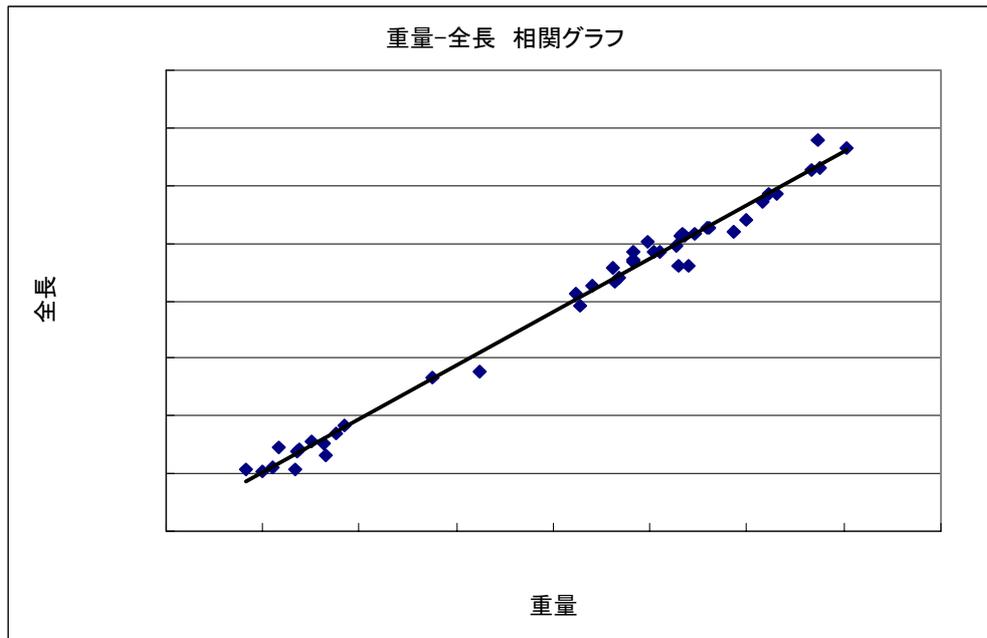


図 1 7 重量と全長の相関

試験結果より、重量と全長の相関性が強いので、優先順位としてまずは重量を安定化させる最適条件の検討を行った。

成形工程中の充填時に影響のある成形機のパラメータとして、フィーダー振幅回数、充填ストッパーに着目し、表 1 のような組み合わせによる実験を行った。評価方法は、成形連続 50 個の重量測定し、その標準偏差の比較を行った。結果を図 1 8 に示す。

表 1 成形試験条件表

	A	B	C	D
フィーダー振幅回数	1 回	3 回	1 回	3 回
充填ストッパー	なし	なし	あり	あり
標準偏差 (重量)	0.0579	0.0294	0.0226	0.0159

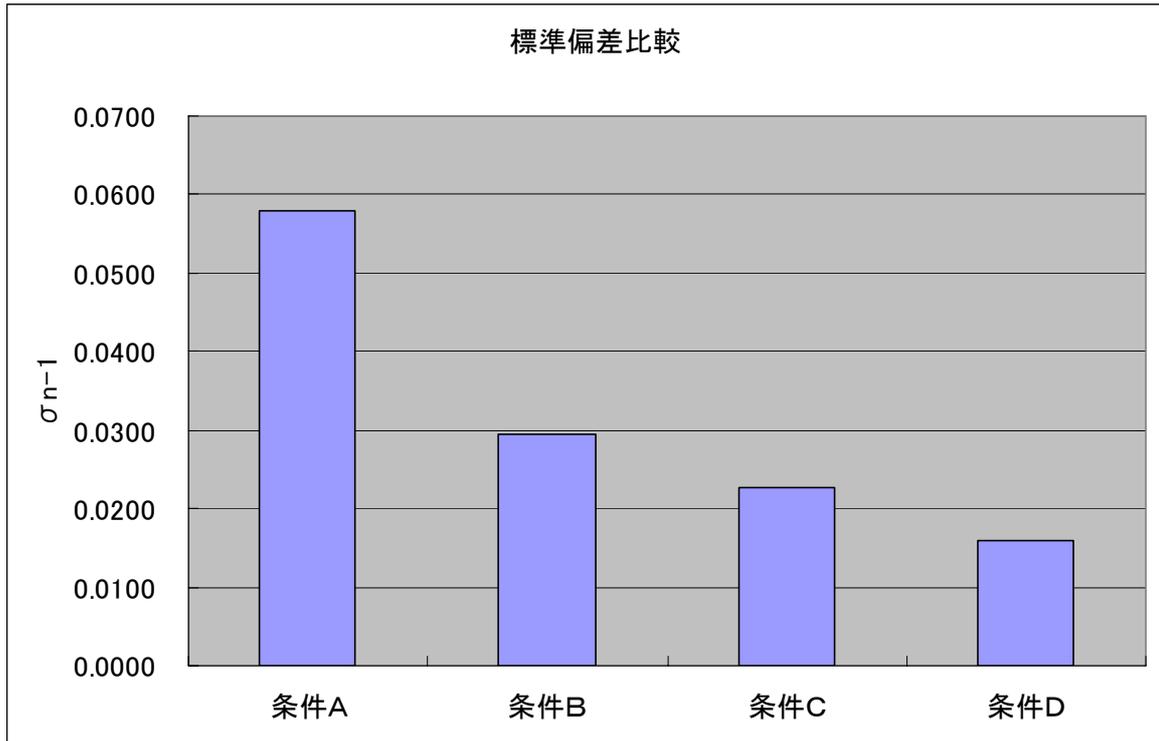


図 1 8 重量標準偏差比較

条件A～Dの結果より、重量を安定化させる最適成形条件が確立した。

次の評価項目として全長のばらつき幅を抑える条件を検討した。全長精度を向上させるには成形機の加圧方向の動作条件の影響があると考えられる。

そこで、上ラムの動作を荷重制御から位置制御に変更し、その他の条件パラメータは下死点での加圧保持時間、および下死点ストッパーを使用した表2の組み合わせの実験を行った。

評価方法は、成形連続50個の全長を測定し最大値、最小値のレンジを算出し比較をした。結果を図19に示す。

表 2 成形試験条件表

	E	F	G	H
上ラム制御方法	荷重制御	位置制御	位置制御	位置制御
下死点保持時間	0	0	10	0
下死点ストッパー	なし	なし	なし	あり
標準偏差 (重量)	0.0159	0.0155	0.0187	0.0165
レンジ幅 (全長)	0.133	0.025	0.029	0.022

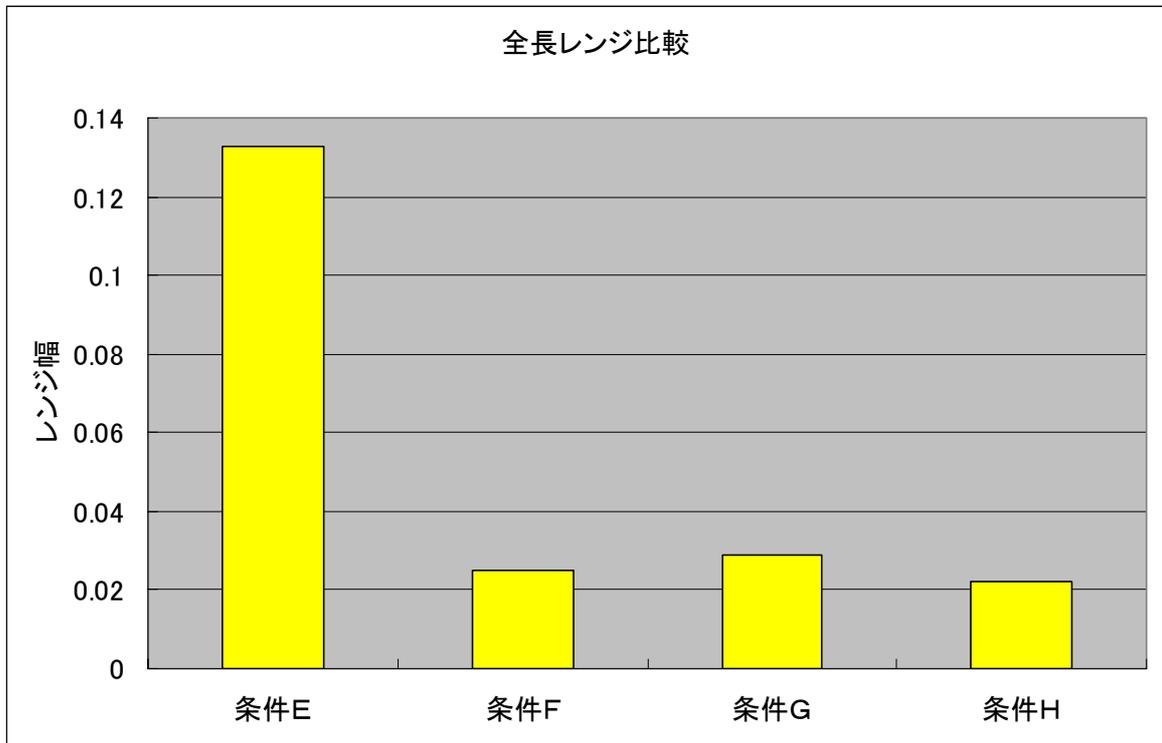


図19 全長レンジ比較

これまでの実験により、製品の重量、全長のばらつき幅が少ない成形条件の最適化ができた。

当社における従来設備との試験結果と比較して、本研究で開発した成形機、及び成形条件は高精度化の効果が確認できた。比較結果を図20、図21、図22、図23に示す。

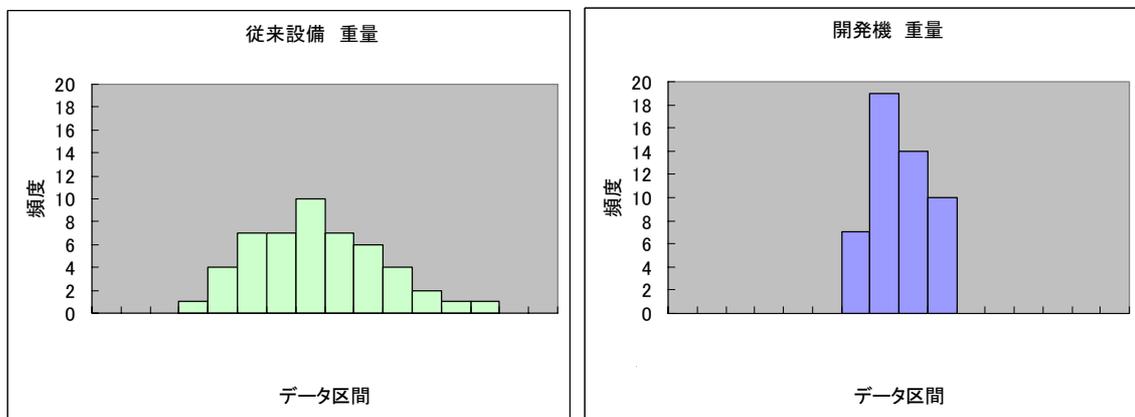


図20 重量ヒストグラム

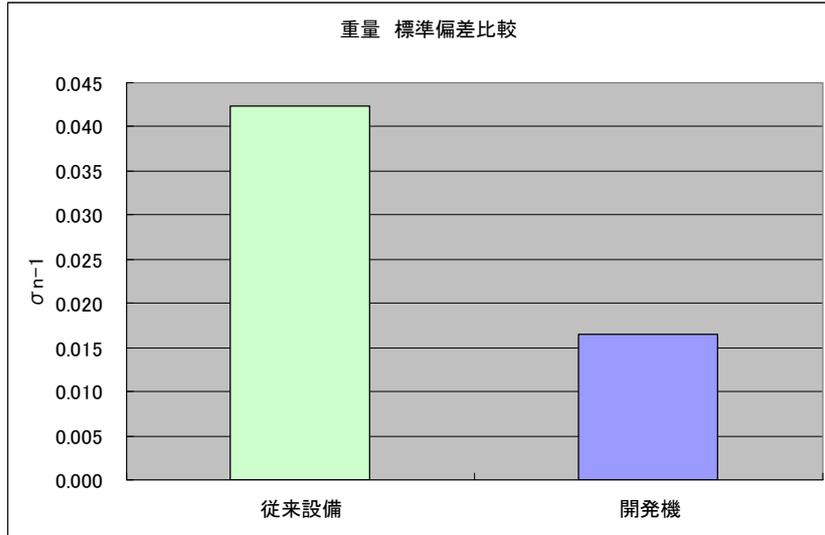


図 2 1 重量標準偏差比較

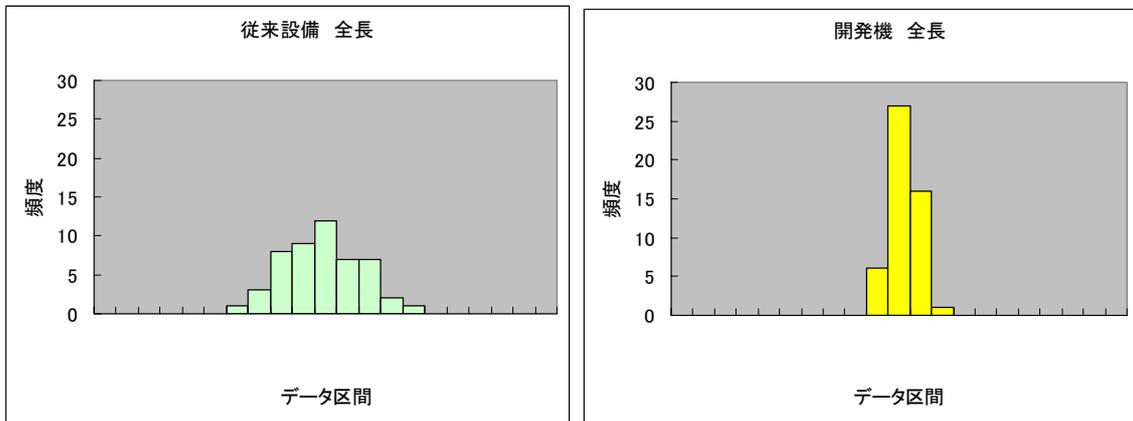


図 2 2 全長ヒストグラム

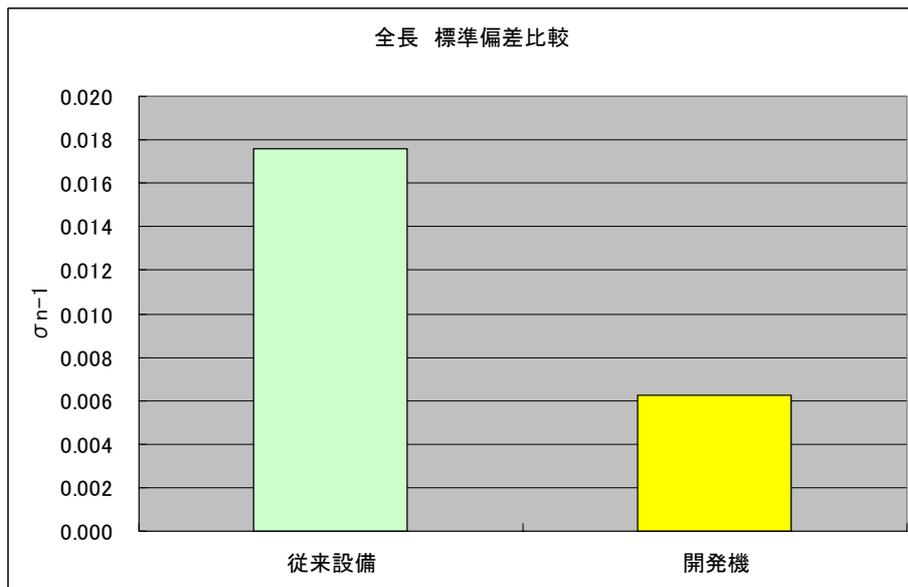


図 2 3 全長標準偏差比較

①-3 CAEによるシミュレーション

①-4 金型、ダイセットの最適化

本研究で開発した成形機用のダイセットモデルを図24に示す。

ダイセット、金型を3D-CADソフトでモデル作成した。このモデルを利用してダイセットへの金型取り付け、成形動作上での各部品の干渉確認を事前に行うことができた。

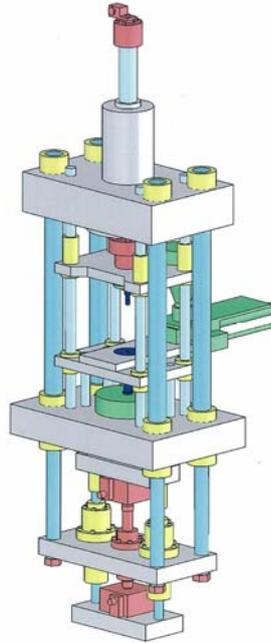


図24 ダイセットモデル

解析を実行するにあたり、成形時の圧力が最も高くなる部分を緩和することを目的とするため、ダイセット全体の応力解析ではなく、図25に示す金型部分のみ解析を行った。

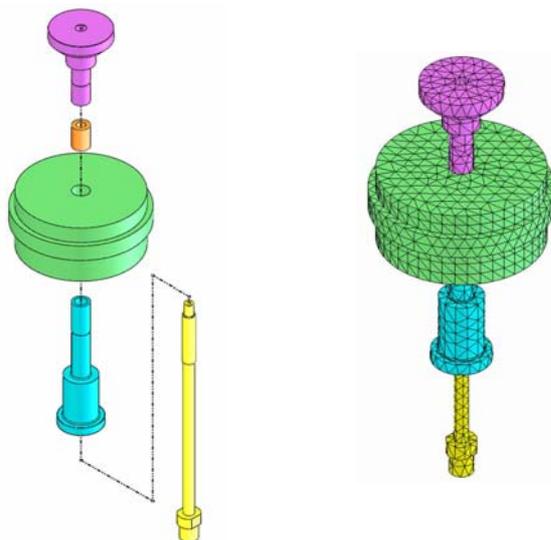


図25 金型構成、解析用メッシュ状態図

解析条件は、金型を成形機に取り付けた状態を仮定し、金型の各部品を図26に示す青矢印で拘束条件を設定した。荷重条件も同様に上パンチ側端面に垂直方向に赤矢印で示す荷重条件を設定した。

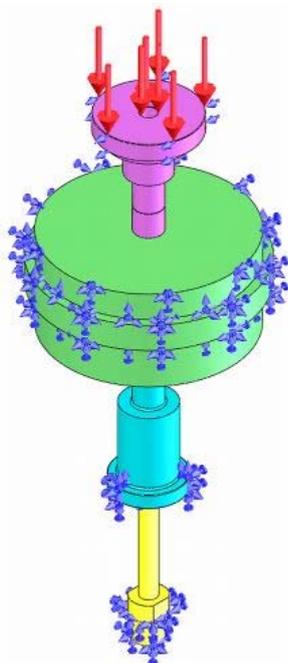


図26 解析条件（荷重条件・拘束条件）

はじめに、メッシュの大きさによる解析結果の確認をした。解析対象となるモデルの大きさ、形状による最適なメッシュサイズを検討した。結果を図27に示す。

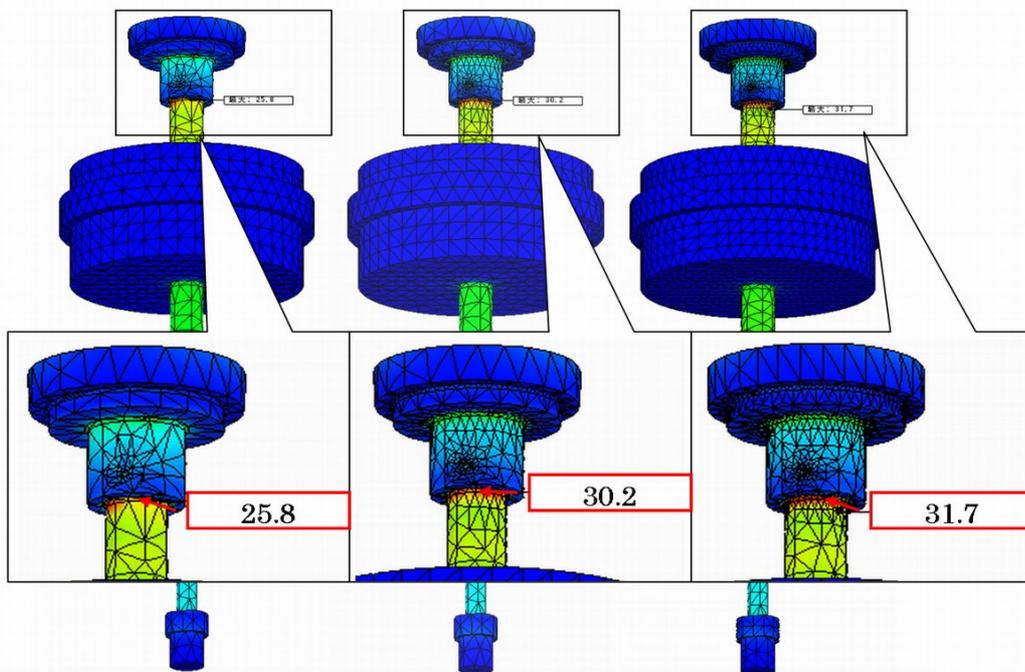


図27 メッシュサイズの検証

図 27 は左から右にメッシュサイズを細分化した結果である。細かくするにつれて解析結果が安定してきており、収束判定として解析結果の差が 5%以内となる条件を設定した。

解析結果より、成形加圧時における金型の応力集中部は、上下パンチともに径方向の変化のある角部に大きな応力がかかっており、角部に R 形状を付与することによって応力緩和の効果がある。図 28、図 29 に上パンチ、下パンチの応力解析結果を示す。

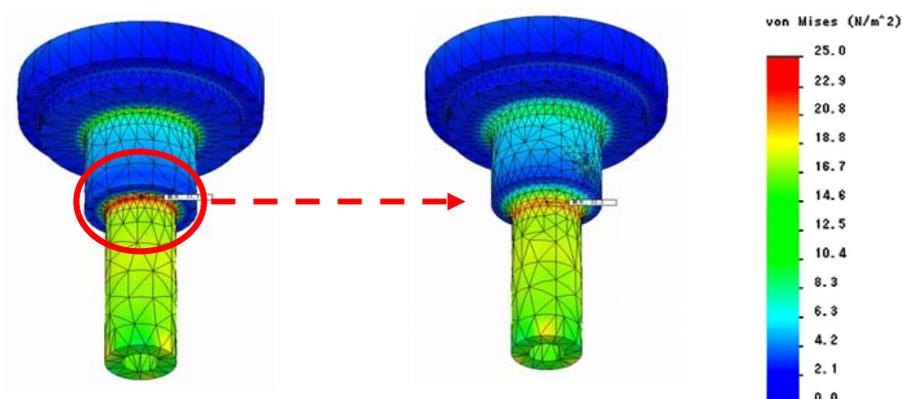


図 28 上パンチ解析結果

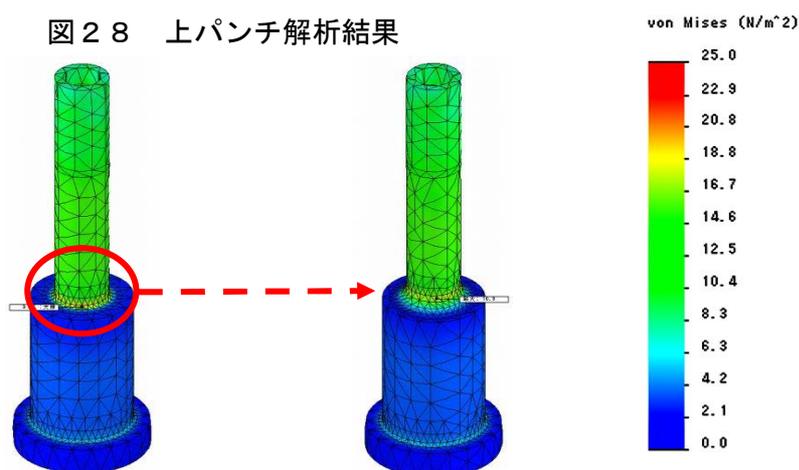


図 29 下パンチ解析結果

この結果により得られた形状をもとに試験用の金型を作製した。本研究で開発した成形機
の設備の高精度化による寸法の安定性の他に、金型の応力集中を低減し、たわみが少なくな
った効果も影響しているものと考えられる。

②焼結条件の最適化

②-1 炉内雰囲気の検討

②-2 焼結温度、時間の最適条件の検討

安定した寸法が維持できる焼結炉の雰囲気、温度、時間等の組み合わせ条件7種類について試験を行った。評価項目は焼結前後の重量、および全長のばらつきとした。

試験結果より、重量に関しては焼結条件の影響が少なく、焼結前の成形体のばらつきが各焼結条件で焼結しても変化量が僅かあることを確認した。全長のばらつきは、条件中の焼結温度が高い条件6、条件7が大きくなったが、その他の条件では大きな変化は確認できなかった。このことより、製品の重量、寸法のばらつき低減には、成形時に抑えることが重要であることがわかる。結果を図30、図31示す。

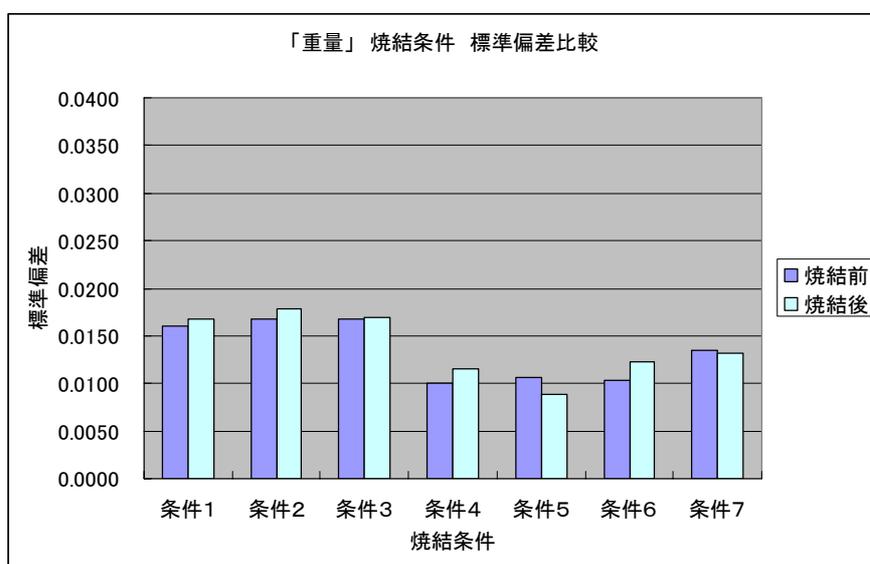


図30 焼結前後「重量」標準偏差

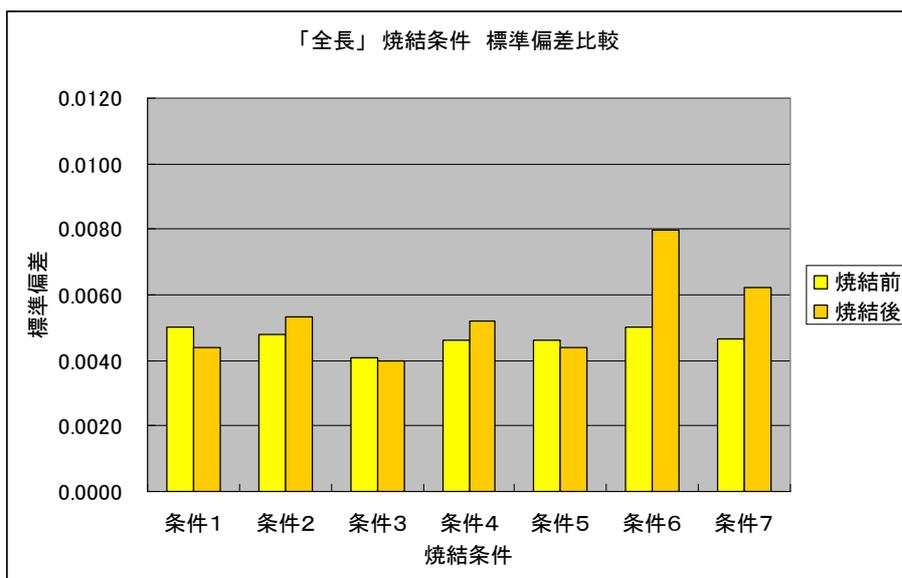


図31 焼結前後「全長」標準偏差

③ 試作品評価

③-1 品質安定化の条件確立

成形工程、焼結工程における安定した品質を維持するための条件を確立した。条件違いによる製品形状の詳細を確認するため真円度測定機（ミットヨ製、RA-H5100AH）での測定を行った。測定機外観を図32に示す。



図32 測定機外観

測定方法は、製品内径部の形状を高さ方向で4箇所測定した。

成形条件違いで3種類の測定評価用サンプルを作製した。結果を図33に示す。

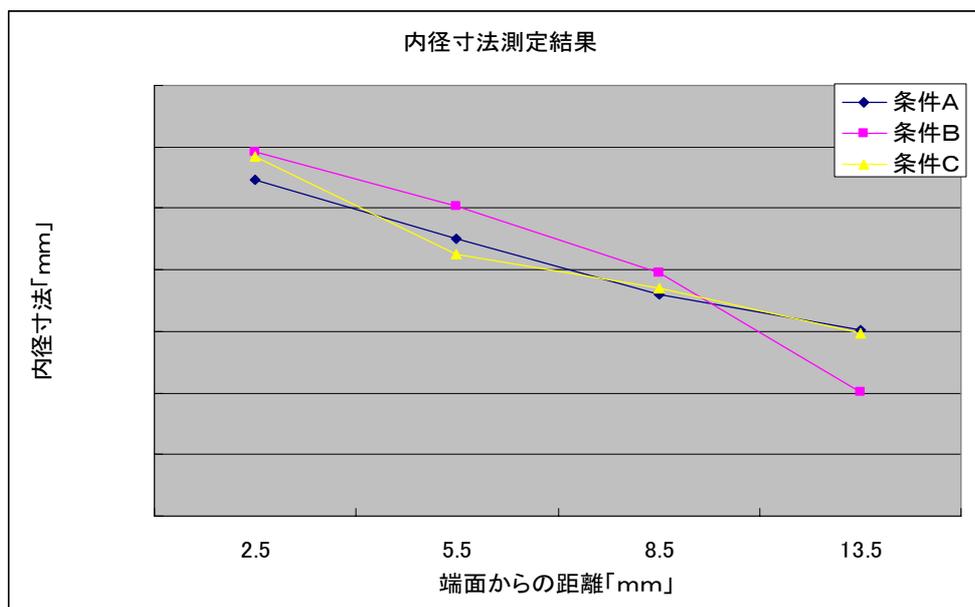


図33 測定結果比較