

システム開発
19-F-8

断面変化中空押出型材製造機械システムの 開発に関するフェージビリティスタディ 要旨

平成20年3月

財団法人 機械システム振興協会

委託先 財団法人 金属系材料研究開発センター



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。



<http://ringring-keirin.jp>

序

わが国経済の安定成長への推進にあたり、機械情報産業をめぐる経済的、社会的諸条件は急速な変化を見せており、社会生活における環境、都市、防災、住宅、福祉、教育等、直面する問題の解決を図るためには技術開発力の強化に加えて、多様化、高度化する社会的ニーズに適応する機械情報システムの研究開発が必要であります。

このような社会情勢の変化に対応するため、財団法人機械システム振興協会では、財団法人日本自転車振興会から機械工業振興資金の交付を受けて、システム技術開発調査研究事業、システム開発事業、新機械システム普及促進事業を実施しております。

このうち、システム技術開発調査研究事業及びシステム開発事業については、当協会に総合システム調査開発委員会(委員長：東京大学名誉教授 藤正 巖氏)を設置し、同委員会のご指導のもとに推進しております。

本「断面変化中空押出型材製造機械システムの開発に関するフェージビリティスタディ」は、上記事業の一環として、当協会が財団法人金属系材料研究開発センターに委託し、実施した成果をまとめたもので、関係諸分野の皆様方のお役に立てれば幸いです。

平成20年3月

財団法人 機械システム振興協会

はじめに

アルミニウムは、リサイクル性に優れているとともに、軽くて、比強度が大きく、錆びにくい、様々な形に加工しやすい、熱や電気を良く通すなど、他素材と比べて多くの優れた特性を持っており、輸送機器、建築、食品包装等、今や身の回りの幅広い製品にとって不可欠な基礎材料です。

アルミニウムの製造加工方法としては、圧延、押出、鋳造（ダイキャストを含む）、鍛造などがあり、鋳造（ダイキャストを含む）は溶解したアルミニウムを型に自然注入または圧入し、その後冷却して製品の形を作る方法であり、鍛造は、溶かして固めたアルミニウムの塊を叩いて製品に近い形にするものです。

それに対して大量のアルミニウムを効率よく製造する方法が圧延、押出です。圧延は溶解工程で溶かしたアルミニウムを鋳造にて大きな鋳塊とし、それを熱間リバーズ、熱間タンデム、冷間圧延等の工程で徐々に厚みを薄くしていく方法です。一方、押出は、圧延が薄い長い板を作るのに対して、アルミニウムの塊から一気に製品断面をもつ部材を作る方法です。製品に合わせた断面を自由に製造できる圧延にはない大きなメリットを有しています。

しかし、一方で、押出材は原理的に一様断面であるという制約条件により、そのままで使用できる部位は限られます。

本フィジビリティスタディでは、断面が変化する押出形材を高精度で効率よく製造し、軽量と強度を両立する最適断面の基本構造部材を、容易に製造できる革新的な機械システムを実現することを目的としました。

本報告書の作成にあたり、ここにあらためて、神戸製鋼所材料技術研究所所長 杉崎委員長、京都大学工学研究科教授、松原委員 他 委員の方々、及び、財団法人機械システム振興協会、及びご指導とご協力をいただいた多くの関係者の方々に深く感謝申し上げます。

平成20年3月

財団法人 金属系材料研究開発センター

目 次

序

はじめに

| | | |
|-------|-----------------------|----|
| 1 | スタディの目的 | 4 |
| 2 | スタディの実施体制 | 9 |
| 3 | スタディの内容 | 12 |
| 3. 1 | 金型連携駆動機械制御技術の開発 | 15 |
| 3.1.1 | 加圧装置の開発 | 15 |
| 3.1.2 | 加熱保温装置の開発 | 17 |
| 3.1.3 | 駆動装置の開発 | 19 |
| 3.1.4 | 駆動制御装置の開発 | 22 |
| 3.1.5 | まとめ | 24 |
| 3. 2 | 金型モジュールの開発 | 25 |
| 3.2.1 | 形材外部駆動金型の開発 | 25 |
| 3.2.2 | 形材内部駆動金型の開発 | 27 |
| 3.2.3 | 金型駆動制御操作システムの開発 | 29 |
| 3.2.4 | まとめ | 33 |
| 3. 3 | モデル部材サンプルの作製と新商品市場の開発 | 35 |
| 3.3.1 | モデル部材のサンプル試作 | 35 |
| 3.3.2 | 新商品市場の開発 | 36 |
| 4 | スタディの今後の課題及び展開 | 37 |

1 フィージビリティスタディの目的

1.1 背景と目的

1.1.1 アルミニウム産業とアルミニウムの特徴について

アルミニウム産業は、精錬業、圧延・押出／加工業などから成り立っているが、アルミニウム精錬には多大な電力が必要とされるため国内ではごく一部を除き、精錬は行われておらず、新地金の供給はすべてを海外からの輸入に頼っている。したがって、欧米のアルミニウムメジャーが、鉱山開発から精錬、圧延・押出／加工までの一貫した事業形態の中で、自社に優位な事業を展開するのに対し、日本のアルミニウム産業は圧延・押出／加工のみのロールマージンだけを利益の源泉とする事業形態となっており、欧米アルミニウムメジャーとの競争力においては不利な状況となっている。欧米アルミニウムメジャーと伍して今後の国際競争を勝ち抜いていくためには、日本の製造業での特質であるユーザーニーズへの的確・迅速な対応を維持強化しながら、特に圧延・押出／加工分野での特徴的な技術によるイノベーションが必要である

アルミニウムは、リサイクル性に優れているとともに、軽くて（比重が2.7で、鉄や銅の約3分の1）、比強度（比重あたりの強度）が大きく、錆びにくい、様々な形に加工しやすい、熱や電気を良く通すなど、他素材と比べて多くの優れた特性を持っており、輸送機器（自動車等）、建築（サッシ等）、食品包装（アルミ缶等）等、今や身の回りの幅広い製品にとって不可欠な基礎材料である。また、近年、アルミニウム製品は、ハードディスク、電解コンデンサ、液晶や半導体の真空製造装置用アルミ厚板、パソコンCPU用ヒートシンク（放熱器）等、ハイテク産業にとっても、ますます欠かせない存在となっている。アルミニウム製品の総需要は、約450万トン／年であり、年々需要が拡大する傾向にある。

1.1.2 アルミニウムの製造方法

アルミニウムの製造加工方法としては、圧延、押出、鋳造（ダイキャストを含む）、鍛造などがある。そのなかで、大量のアルミニウムを安価に製造する方法が圧延、押出である。押出は、圧延が薄い長い板を作るのに対して、アルミニウムの塊から一気に製品断面をもつ部材を作る方法である。製品に合わせた断面を自由に製造ができる圧延にはない大きなメリットを有する。

圧延、押出、鋳造、鍛造等、アルミニウム製造加工方法毎の生産量を図・1.1.1 に示す。圧延、押出、鋳物ダイキャストで90%以上を占める。

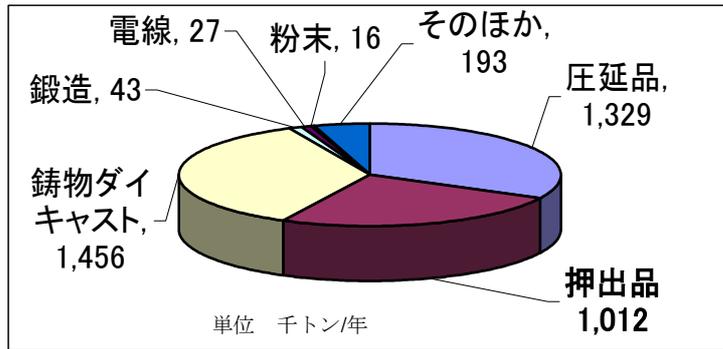


図-1.1.1 アルミニウム加工方法毎の生産量
2005年度実績 (社) アルミニウム協会 HP より

1.1.3 押出材のメリットと課題

押出加工は、図-1.1.2 に示すように、ビレットを切断、加熱後、プレス内に設置して金型に押し込むことで、金型形状が転写された、長手方向に均一断面を有する部材を得る方法である。日本における押出材の適用製品としては、建築、特にアルミサッシが主な用途であり、その他車両等の輸送機器が続く。

輸送機器分野、その中でも自動車に関しては、地球温暖化防止に向け、燃費向上を目的にアルミニウムの採用が求められており、圧延材・押出型材の使用が拡大している。

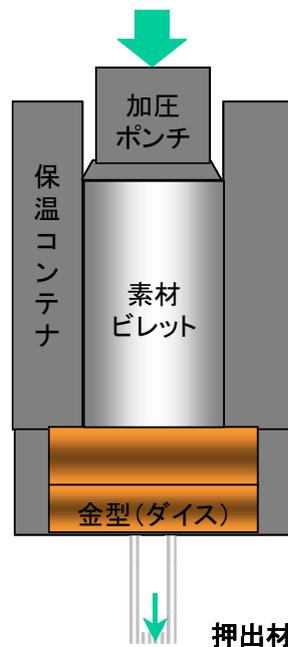


図 1.1.2 押出工程

特にアルミニウム押出型材は、部材での剛性要件を満たす複雑断面を容易に形成できることより、バンパー、ドアビーム、サブフレーム等多くの部位に使用されている。Audi の発表したオールアルミ車に使用されたスペースフレームはその代表でもある。

しかしながら、押出材は「長さ方向では一様な断面である」という制約条件により、そのまま流用できる部位は限られ、一般には押出型材をプレスや曲げ・切削加工をすることにより、所定の形状に仕上げられる場合が非常に多い。押出型材特有の複雑断面の形成ができるという長所がありながら、この一様断面であることが車両軽量化という強いニーズに対してアルミニウム型材が十分応えることのできない大きなネックとなっている。

1.1.4 スタディの目的

欧米メジャーに対する国内アルミニウム産業の優位性を確保するとともに、地球温暖化防止に向けてアルミニウム主要部材としての押出材の用途を更に拡大するためには、前述のよう、「押出型材特有の複雑断面の形成という長所がありながら、一様断面しか製造ができない」という大きな欠点を打破する必要がある。

したがって、今回実施する「断面を可変形状とする押出型材の製造プロセスの開発」は重要な課題である。当然ながら、この断面変化押出技術に関しては従来より大学の研究グループを中心に多くの研究機関や企業において開発が進められてきた。しかしながら、技術ハードルが高く、実用に耐えうる技術は完成できていないのが現状である。

財) 金属系材料研究開発センターでは、自動車へのアルミニウム適用に対して、これまで、「アルミニウムリサイクル技術の開発」、「高成形性板材の開発」、「アルミニウムハイブリッド構造の開発」、「ポーラスアルミニウム材料の開発」等アルミニウム圧延材の自動車への使用拡大について、国の支援を受けながら研究開発を推進してきた。

一方、断面変化押出技術に関しては、斬新なアイデアで難関に挑戦してきており、ラボ実験による基本原理の確認を終え、その有効性の目処を得た。ただし、実用化にあたっては、「ラボ実験装置を工業的に成立する機能を有する装置まで高めること」を初めとし、多くの開発項目が残っている状況にある。

このため、本スタディでは、断面変化する押出型材を高精度で効率良く製造し、軽量と強度を両立する最適断面を持つ基本構造部材を、できるだけニアネットシェープで容易に製造できる革新的機械システムを実現する。そして、自動車等での「必要なところに必要な形状、肉厚を持つ押出型材の適用」を拡大させ、アルミニウム型材の採用による自動車

軽量化での燃費改善、CO2量の削減に寄与することを目的とした。

1.2 断面変化型材の研究開発の現状

通常、中空型材の押出（図-1.2.1）では、固定金型を用いて金型の開口形状になる断面一定の型材しか得られない。これに対して、近年、断面変化型材の研究開発は増加しており、その方法は主として、押出を行いながら一部の金型を押出方向に垂直な面に沿って駆動装置で移動させるものである。ゴムや樹脂の押出では実用化されているがアルミニウム合金では、可動金型をスライドする従来の駆動方式で断面変化する押出材を製造するには、①大きなシーリング力に打ち勝つ駆動装置が必要なこと、②金型の摩耗が激しく寿命が短くなること、③製品の表面性状や寸法精度に悪影響が出やすく、曲がり変形に対する矯正の必要なことが、大きな問題点となっており、実用化の例はない。

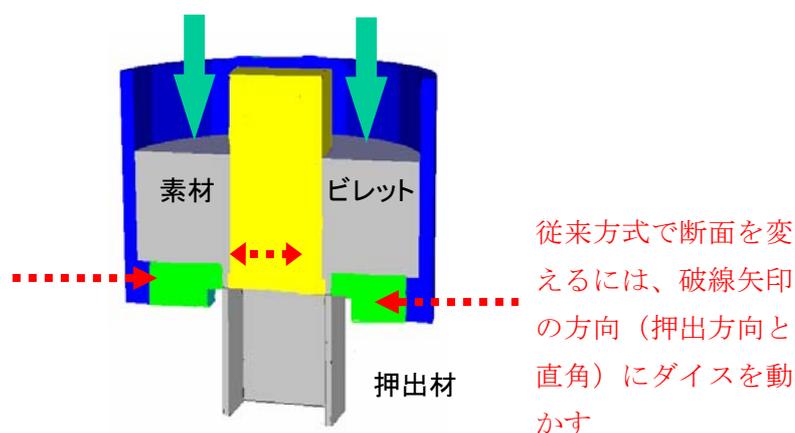


図-1.2.1 中空型材の押出

1.3 本技術の特徴

本技術（図-1.3.1）は、押出過程で金型の駆動（D）や停止（BやF）によって中空型材の断面を変化させる。すなわち、金型の駆動方向や駆動速度変化などによって様々な断面形状を連続的に変化させながら実現できる技術である。

そして、本技術の特徴は、特に押出方向にほぼ平行して略斜め方向に可動金型を移動させる駆動機構にある。この方式では、可動金型に直接押出のシーリング力を負荷させる必要がない。更に固定金型内で可動金型を駆動するので、可動金型の受圧面積を大きくする必要はなく、小さな負荷を受けるだけで済む。このため、可動金型の摺動面の摩擦力は従来方式に比べて非常に少なく、金型の寿命上で有利である。また、可動金型出口どうしの位置も同じとなるように位置制御することによって製品の曲がり変形をなく

すことが可能である。

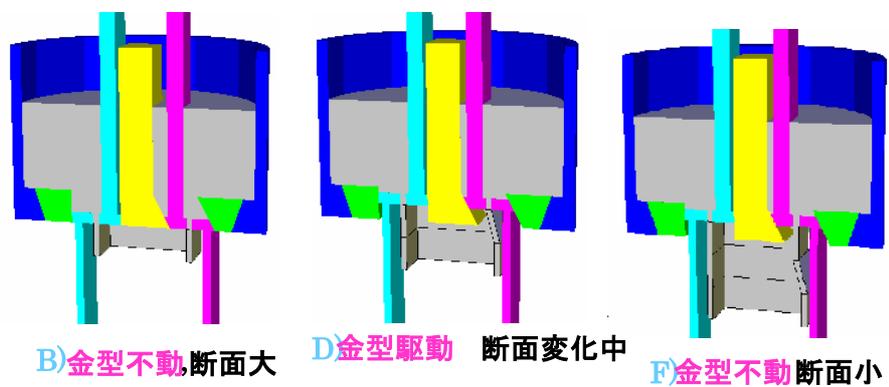
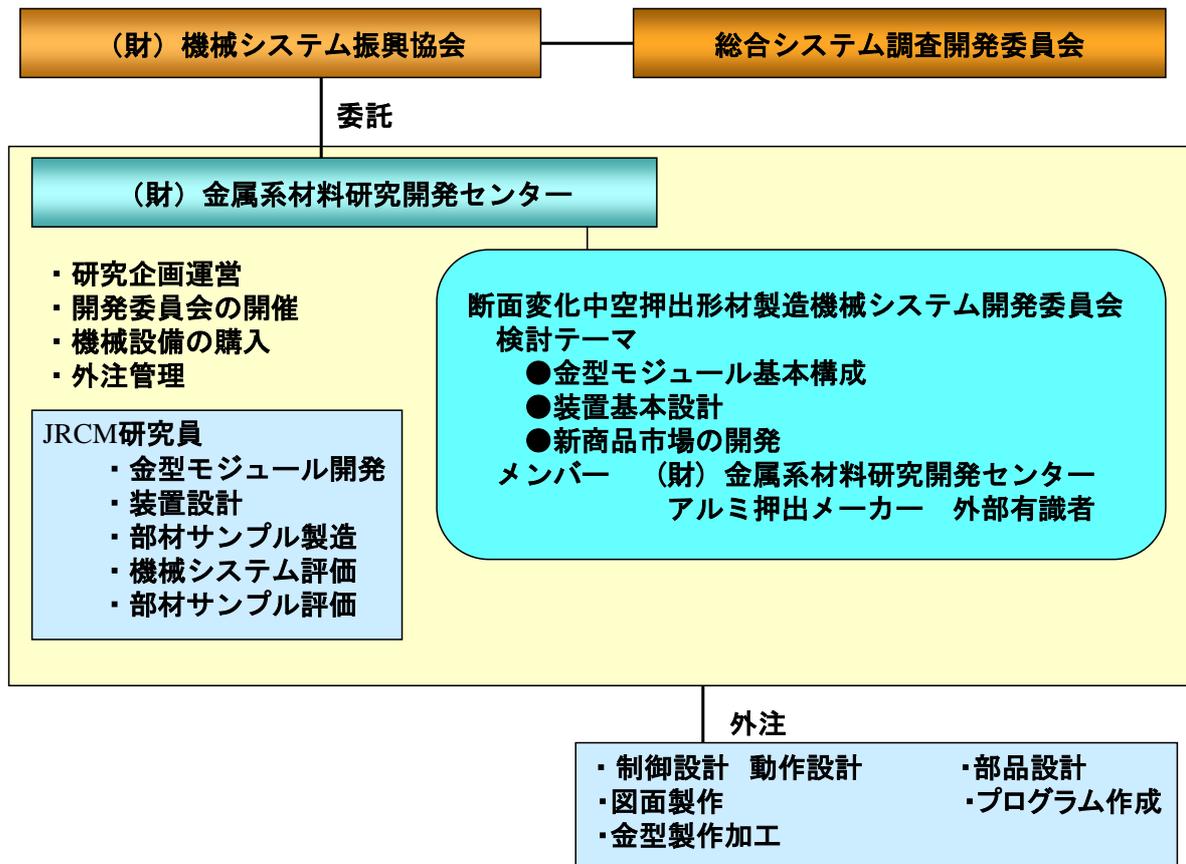


図-1.3.1 本技術の 金型駆動 断面変化中空押出型材

2 スタディの実施体制

2.1 実施体制

(財) 金属系材料研究開発センター内に製造メーカー、外部有識者からなる「断面変化中空押出型材製造機械システム開発委員会」を組織し、同委員会の調整のもとに開発に関するフィージビリティスタディを実施した。



総合システム調査開発委員会委員名簿

(順不同・敬称略)

| | | |
|-----|--|---------|
| 委員長 | 東京大学 名誉教授 | 藤 正 巖 |
| 委 員 | 埼玉大学 総合研究機構 地域共同研究センター 教授 | 太 田 公 廣 |
| 委 員 | 独立行政法人産業技術総合研究所 エレクトロニクス研究部門 副研究部門長 | 金 丸 正 剛 |
| 委 員 | 独立行政法人産業技術総合研究所 産学官連携推進部門 産学官連携コーディネータ | 志 村 洋 文 |
| 委 員 | 東北大学大学院 工学研究科 教授 (未来科学技術共同研究センター長) | 中 島 一 郎 |
| 委 員 | 東京工業大学大学院 総合理工学研究科 教授 | 廣 田 薫 |
| 委 員 | 東京大学大学院 工学系研究科 准教授 | 藤 岡 健 彦 |
| 委 員 | 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授 (副研究科長) | 大 和 裕 幸 |

断面変化中空押出型材製造機械システム開発委員会委員名簿

(順不同・敬称略)

| | | |
|-----|--|--------|
| 委員長 | 株式会社神戸製鋼所 技術開発本部 材料研究所 所長 | 杉崎 康昭 |
| 委員 | 国立大学法人京都大学 工学研究科 材料工学専攻 教授 | 松原 英一郎 |
| 委員 | 株式会社リーディング・イノベーション 代表取締役社長 | 芦沢 誉三 |
| 委員 | 株式会社神戸製鋼所 技術開発本部 開発企画部 部長 | 金丸 盛宣 |
| 委員 | 株式会社神戸製鋼所 技術開発本部 材料研究所加工技術研究室 室長 | 原 宣宏 |
| 委員 | 株式会社神戸製鋼所 技術開発本部 企画担当課長 | 河田 和久 |
| 委員 | 財団法人 金属系材料研究開発センター 主任研究員 | 栄 輝 |
| 委員 | 財団法人 金属系材料研究開発センター 専務理事 | 小紫 正樹 |
| 委員 | 財団法人 金属系材料研究開発センター 非鉄材料研究部 部長 | 小林 浩 |

3. スタディの内容

自動車向け最適断面ビーム材をモデル部材(図-3.0.1)とし、厳しい寸法精度を満足し、安定して生産できるような、プロト機械システム装置の開発(図-3.0.2)と製造プロセス技術の確認を行う。そのためには①高圧力(3,000~5,000kgf/cm²)、高摩擦力に対抗して、押出負荷ラム動作との連携制御を行いながら、金型を高精度で駆動する機械制御技術 ②金型の駆動によって生じる金属流動の不安定さを極力抑え、高精度な反りや曲げ、板厚を実現するプロセス技術が必要である。

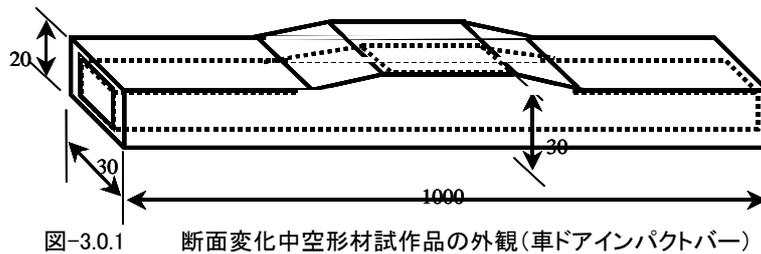


図-3.0.1 断面変化中空形材試作品の外観(車ドアインパクトバー)

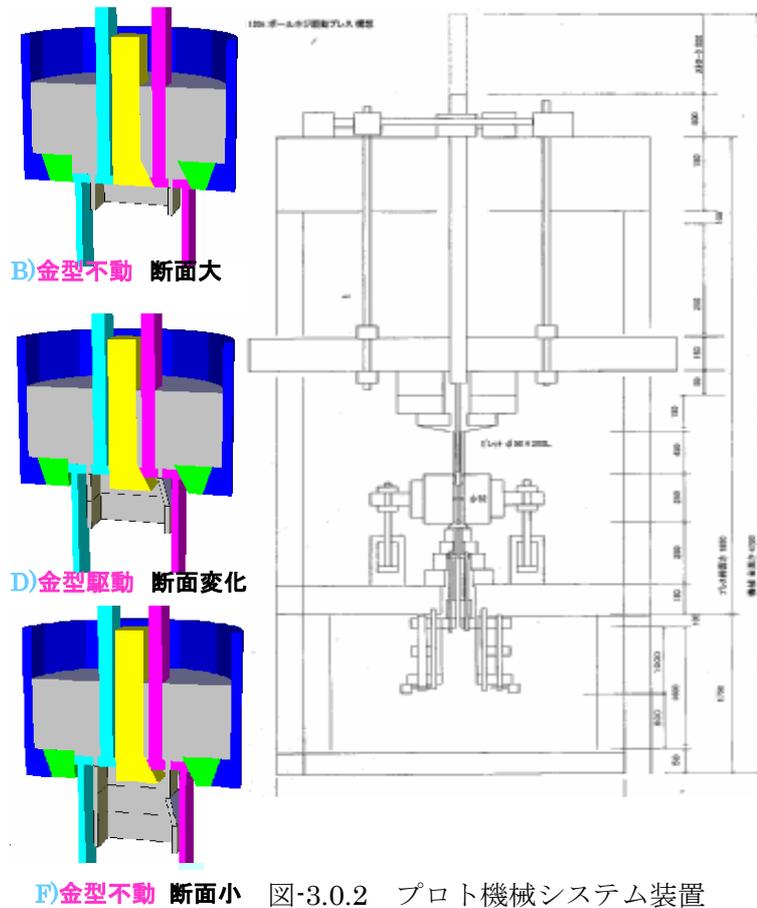


図-3.0.2 プロト機械システム装置

(実施項目 1) 金型を高精度で連携駆動させる機械制御技術の開発

本スタディ独自の断面変化中空形材押出方式では金型の分割と駆動が必要となる。これを実現するプレス機械は当然、現存しない。ここでは、保温される押出素材を加圧する主軸の他に、上下に各二駆動軸（形材の内面と外面の形成に当たる）と制御機構を設定する必要があり、主要課題として専用のプロト機械（図-3.0.2 に概略）を設計、製作する。

(実施項目 2) 金型モジュールの開発

本スタディ独自の押出方式により、断面変化中空形材の製造には金型の分割と駆動が不可欠である。例えば、同一速度でピレットを押しても、製品断面形状の変化に応じて金型への負荷が変動するとともに、押出速度も変化するため、駆動制御にあたっては分割金型の幾何学的な位置関係とともに、塑性変形を考慮した制御アルゴリズムが必要となる。したがって、異なる製品の形状寸法に対応して、金型の分割と駆動やそれらの組み合わせを最適に行う金型モジュールの設計が必要となる。

機械構造としての金型の駆動方式は、複数候補に対する実験解析を実施し、最適方式を決定する。更はその駆動方式に適用した金型の分割及び駆動の制御については、形状精度に及ぼす支配因子の影響度を把握するために、モデル材（粘土積層材やアルミ積層材）を用いて多様な形材要素を盛り込んだ実験とその試料測定より上記関係の分布を掴み、更に数値解析の手法を加えて支配因子の期待値を定量化し、金型の分割（駆動と非駆動との分割配分）及び駆動の制御内容を決定する。

(実施項目 3) 断面変化中空押出形材のモデル部材サンプルの作製と新商品市場の開発

(1) 自動車用モデル部材サンプルの作製

自動車向けのニーズは実感として把握しており、試作品の提示を通して現有構造材から代替材料への市場の広がりを実感にすることができる。ここではパンパー、インパクトバー、シートフレームなど構造部材を断面変化中空形材化する優先度が高い。車ドア内蔵インパクトバーは最も設置空間の制約が厳しいという特徴により、断面変化中空形材を適用する優位性を有し、また断面外形が小さいために機械システムが小規模となる。本開発ではインパクトバー（図-3.0.1）を具体的なモデル部材として開発を進める。具体的な試作実験により金型装置を駆使して製造技術を検証し、試作品を改良（寸法精度など）する。

(2) 新商品市場の開発

断面変化中空押出形材は軽量かつ高強度の両立に有利ではあるが、まだ実在しない基礎構造材であり、市場の調査を行う。美感デザインを価値とする市場（建築分野等）において断面変化中空構造材がデザインに新たな可能性をもたらす手答えを得たが（図

-3.0.3)、デザインの美感と断面変化中空構造材との擦り合せから始める必要がある。新価値を提案して初期ユーザーを特定する。



図-3.0.3 美観デザイン部材

3. 1 金型連携駆動機械制御技術の開発

本スタディ独自の断面変化中空形材押出方式では金型の分割と駆動が必要となり、これを実現するプレス機械は現存しない。ここでは、保温される押出素材を加圧する主軸の他に、上下に各二駆動軸（形材の内面と外面の形成に当たる）と制御機構を設定する必要があり、主要課題として専用のプロト機械（図-3.0.2に概略）を設計、製作した。

3.1.1 加圧装置の開発

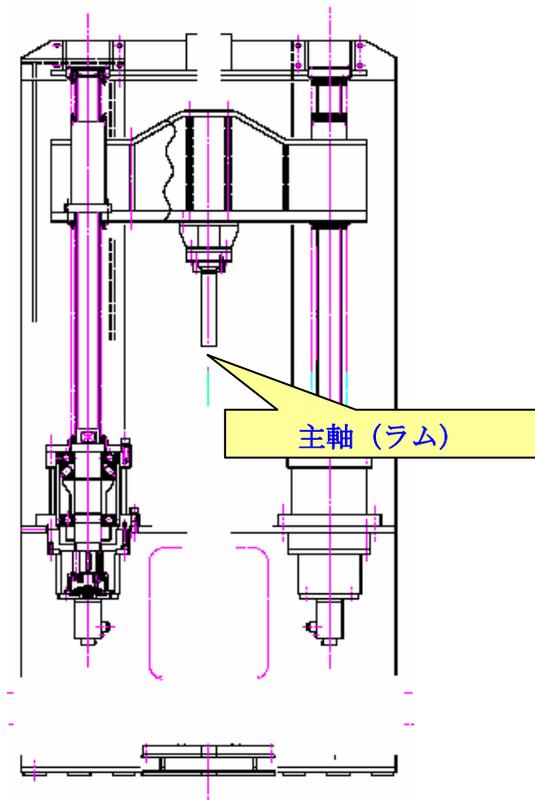
保温される押出素材を加圧する主軸に該当する本装置の開発にあたって、以下の諸条件を前提に設計を開始した。

- ・ 多軸連携制御の精度を考慮して、動力源としてサーボモータを採用する。
- ・ モーターの回転動力を直進動力に変換するボールスクリュウは日本で現実に調達できる寸法に限る。
- ・ 主軸の加圧力は、対象製品のサイズと押出比などを勘案して、高強度アルミ合金（例えば A7000 系）にも対応することを考慮して Max200 t とする。
- ・ 形材は装置下部に押し出される配置とするが、地面上にハンドリングすることに限る（ピット掘り工事はしない）。

など。

計算、計画を経て設計した結果として、図-3.1.1(a)に示すように、2サーボモーター同期駆動による 2Drive/Pull Down 方式(LM GUIDE、サーボ制御)の縦型プレスとした。全体の略外寸として、幅 2530×奥 1860×高 5410mm となった。

本装置は、精度と剛性を保つために組み立てを経て一体物として調整、搬入、据付とその調整を行った。図-3.1.1(b)に調整を完了した装置の全体像を示す。



(a)全体の設計図



(b)実物の写真

図 3.1.1 加圧装置の概観図

なお、本装置は自前設備であり、委託者に所有権が帰属する物件（機械装置等）ではないことを付記する。

3.1.2 加熱保温装置の開発

本スタディはアルミ合金の押出成形を対象としているが、アルミ合金の素材（ビレットと称する）を略 400℃～500℃に保温した状態で加圧する必要がある。加熱保温装置の開発は、アルミ合金ビレットを加熱し、押出過程において所定温度に保温する役割を果たす。実際には、押出中に加圧されるアルミ合金ビレットを保持するコンテナに加熱、保温を施すことになる。（図-3.1.2 を参照）

ここでは、以下の開発指針でコンテナの加熱・保温方式を検討した。

- ・加熱速度（室温から上記所用温度までの所要時間 2hr 未満）を許容できる範囲で、加熱、保温の安定性を優先する。

具体的にインダクションヒーターによる加熱、保温方式及び電熱ヒーターによる方式について、計算に加えて実物実験で検討した。図-3.1.2 に実物実験の結果一例を示す。図-3.1.2(a)に電熱ヒーター、図 3.1.2(c)にインダクションヒーターによる実験構成を示し、図-3.1.2(b)に時間に対する温度上昇のパターンを示す。ここから、このままのインダクションヒーターによる加熱は不安定（オーバーシュットしがち）だと判断し、電熱ヒーター方式の最適化を決定した。



図-3.1.2 加熱実験

また、電熱ヒーター方式についてコンテナ内層に挿入したカードリッジ式を採用し、
図-3.1.3 に示すように計 38KW の出力を有する 12 本カードリッジを配置した。



図-3.1.3 カードリッジ式電熱ヒーターとコンテナへの挿入孔

図-3.1.4 に組み立て後に加圧装置に組み入れ、断熱処理してから加熱、保温テストの状態及び 500°C に保温している状態（最大誤差値）を示す。所定時間内に加熱ができ、所定以上に安定した保温を実現した。

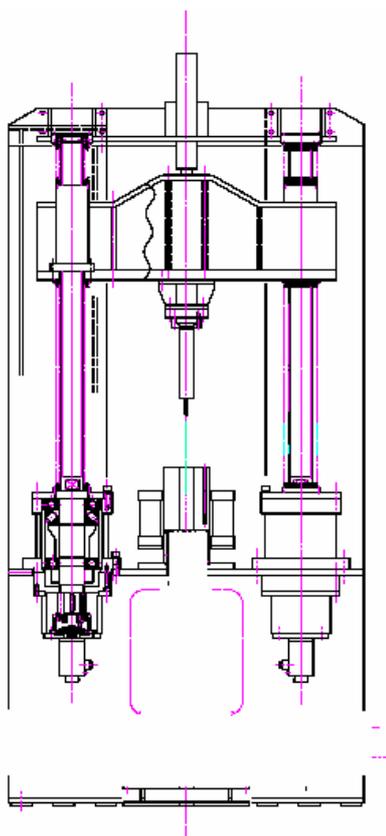


図-3.1.4 全体装置におけるコンテナ配置、組み入れ後の加熱・保温（500°C）実験

3.1.3 駆動装置の開発

金型駆動装置には上下に各二駆動軸（形材の内面と外面の形成に当たる）があり、所用駆動力、駆動機構の検討が必要であった。

ここでは、駆動装置の開発検討にあたり、計算の他に実験シミュレーション手段も用いた。図-3.1.5に汎用加圧プレスに形材内・外部駆動の実験装置を工夫した実験シミュレーションを行う様子を示す。

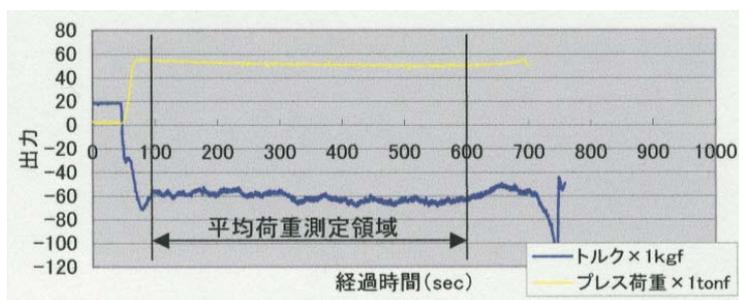


図-3.1.5 汎用プレスに実験シミュレーション装置を組み入れた状態

図 3.1.6 に上記実験装置を用いたアルミ合金の押出実験事例を示す。ここでは、金型を駆動しながら、断面変化型材の押出を実施した。候補駆動機構を選定するための機構妥当性の確認や駆動モーター（シリンダー）を選定するための所要駆動力量の計測など、実験シミュレーションを行った。



(a) 駆動機構、金型の一部



(b) 駆動力データ

図-3.1.6 断面変化型材の押出実験シミュレーションの事例

上記実験シミュレーションのデータを踏まえて、金型駆動のモーターとして上下4基とも 2KW を選定した。更に、駆動機構の選定を経て、加圧装置に組み入れた状態の設計結果は図-3.1.7 に示す。製作を経て全体の加圧装置に組み入れた実物の状態を図-3.1.8 に示す

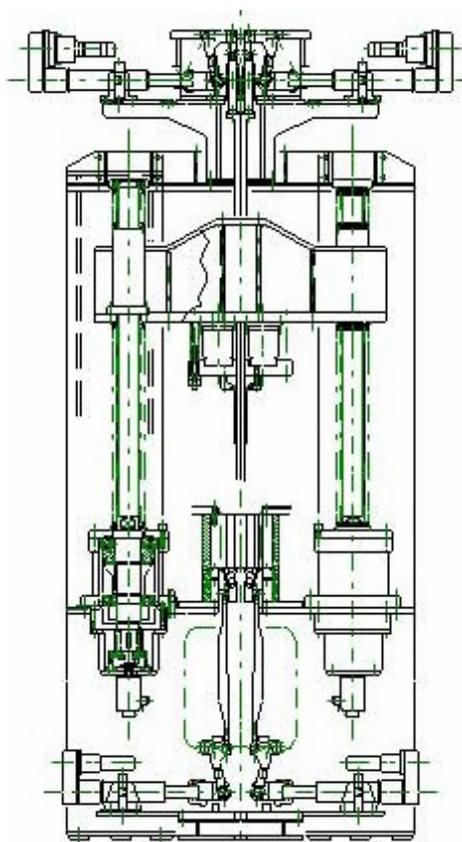


図-3.1.7 金型駆動部を含む装置設計全体図

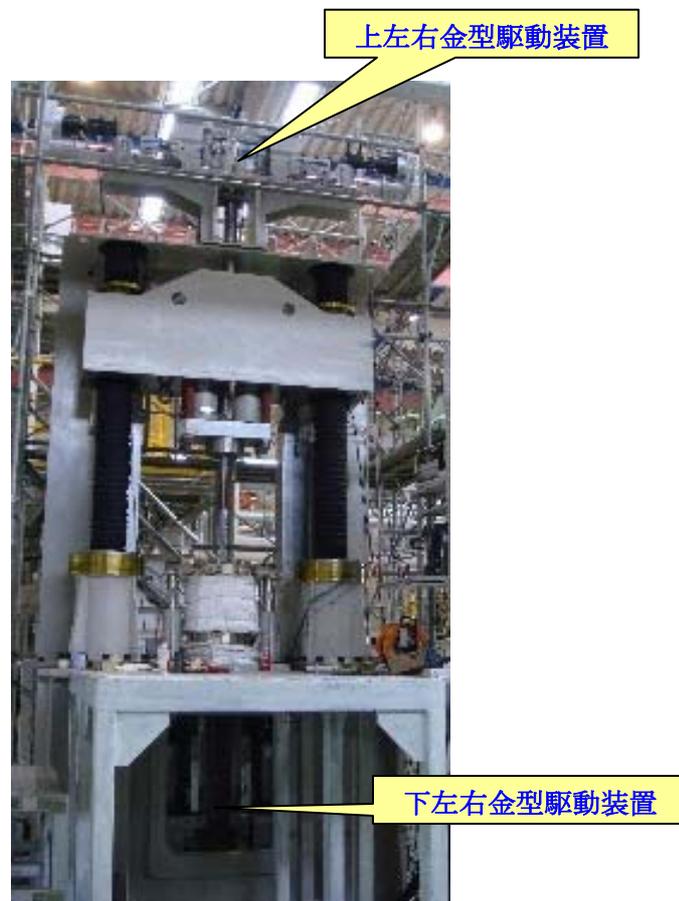


図-3.1.8 システム装置の実物概観写真

3.1.4 駆動制御装置の開発

以上で記述してきたように、本スタディの装置システムには 6 基のサーボモーターを駆動して 5 軸の連携動作を得ようとした。6 基サーボモーターの連携制御が不可欠であった。

本サーボ制御システム (PLC) の開発において、図-3.1.9 に示す制御イメージ図に基づいて所要制御パラメータを積み上げて行った。それに対応したサーボドライブ (サーボ制御 PLC) 構成図は図-3.1.10 に示す。それに対応した制御システム電装盤の実物は図-3.1.11 に示す。

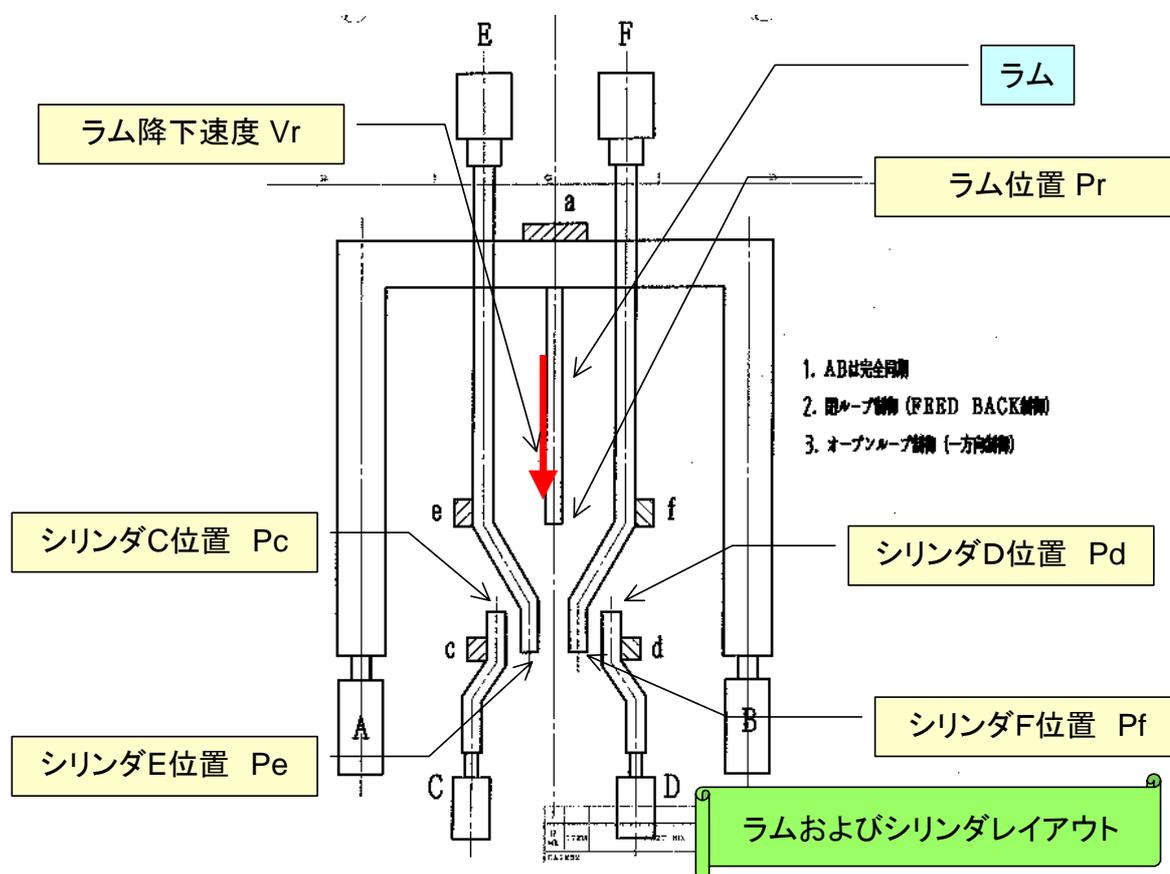


図-3.1.9 素材加圧ラムと金型駆動シリンダーとの制御イメージ図

サーボドライブ構成図

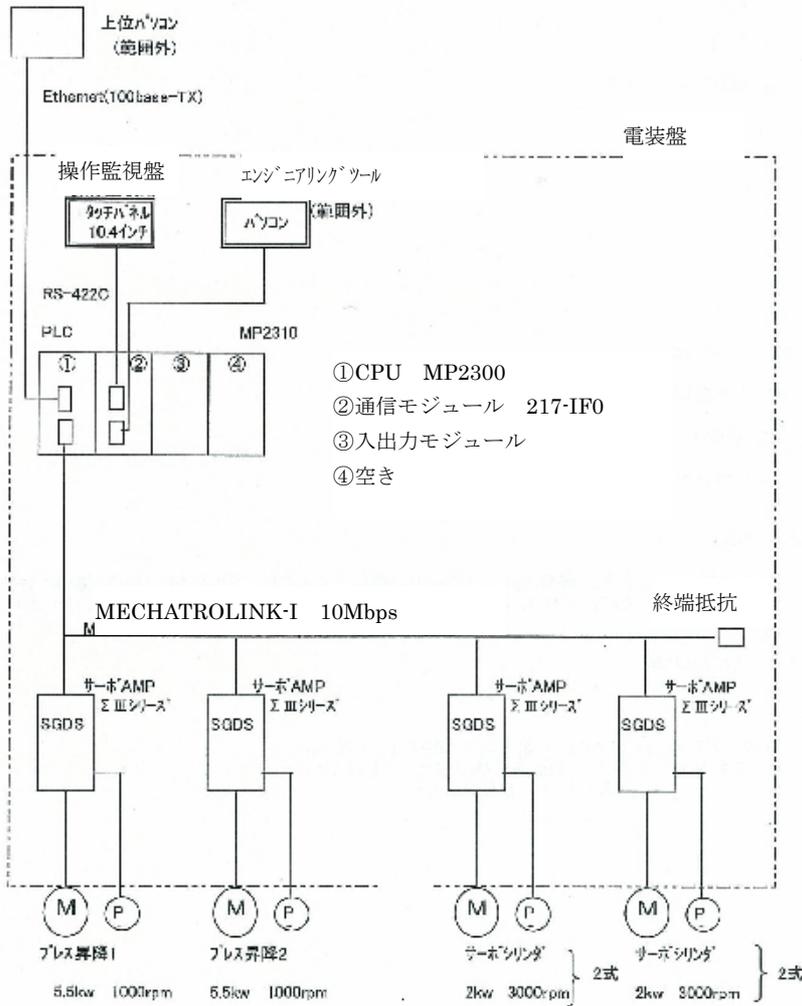


図-3.1.10 サーボドライブ構成図

図-3.1.11 PLC 制御電装盤

3.1.5 まとめ

本スタディでは、金型連携駆動機械制御技術の開発に関して、素材に加圧する装置の開発、素材を加熱・保温装置の開発、金型駆動装置の開発及びその制御システムの開発を行った。その結果、6 サーボモーター5 軸連携駆動の断面変化型材用押出機械システム装置を図-3.1.12 の全貌写真のように、設計・製作・組立・調整を経て完成した。後に述べるように断面変化型材のサンプル製作に供用した。



図-3.1.12 断面変化型材押出用機械装置システムの全貌写真

3. 2 金型モジュールの開発

本スタディ独自の押出方式により、断面変化中空型材の製造には金型の分割と駆動が不可欠である。異なる製品の形状寸法に対応して、金型の分割と駆動やそれらの組み合わせを最適に行う金型モジュールの設計が必要となる。

ここでは、機械構造としての金型の駆動方式は、候補構造に対してモデル材（アルミ合金）の実験シミュレーションを実施して、決定した。その結果を受けて、断面変化型材の外形変化をもたらす外部駆動金型と対して内形を変化させる内部駆動金型を開発した。

更にそれらの金型駆動方式に適用した金型の分割及び駆動の制御を決定するための手段として、コンピュータ操作システム（PC-OS システム）を開発した。

3.2.1 型材外部駆動金型の開発

図-3.1.5 に示す実験シミュレーション装置を用いて、アルミ合金の押出実験を実施して、金型駆動候補構造の妥当性を検証した。例えば、図-3.2.1 に断面変化型材の押出実験とその外部駆動金型に用いた金型の部品例を示す。

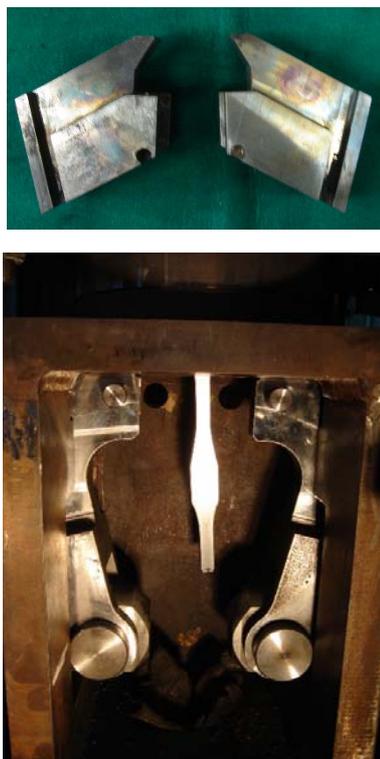


図-3.2.1 断面変化型材の押出実験とその外部駆動金型の部品例

このような実験によって図-3.2.2 に示す断面変化型材を製作した。実験プロセスにおける駆動系と型材との干渉有無の範囲や金型の駆動部と静止部との相対移動による摩擦状況、負荷状況、安定性などの結果を検討した。その結果を受けて、断面変化型材の外部駆動金型の設計指針を定めた。

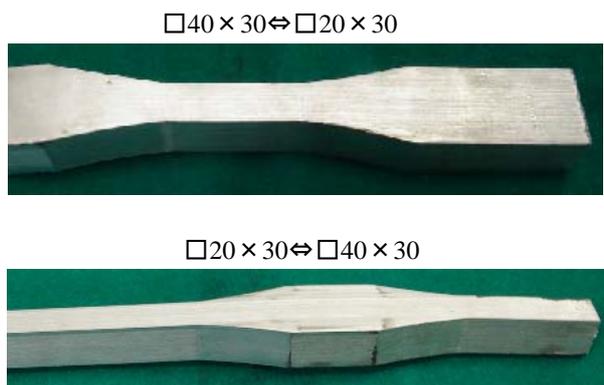


図-3.2.2 実験シミュレーションで製作した断面変化型材

更に、詳細な設計及び部品の製作を経て、断面変化型材の外部駆動金型セットを組み立てた。図-3.2.3 にその組み立て例を示す。両サイドに駆動機構の一部が見られ、中央に型材形状を規定する押出開口があって駆動によって移動する駆動金型を見ることができる。



図-3.2.3 断面変化型材の外部駆動金型セットの俯瞰写真

図-3.2.4 にこの外部駆動金型セットを用いて断面変化型材を試作し、コンテナと金型を開けた状態を示す。全体装置に組み入れた外部駆動金型セットによるサンプル製作の

有効性を得られた。



図-3.2.4 外部駆動金型セットによる断面変形状材の製作例

3.2.2 形材内部駆動金型の開発

図-3.1.5に示す実験シミュレーション装置を用い、アルミ合金の押出実験を実施した。外部駆動金型構造の決定及び上記外部駆動金型の開発結果を受けて、形材内部駆動金型の開発にあたって、同様の駆動方式を採用することにした。ただし、内部駆動金型の構成が異なることとその設計条件を同定するために、図-3.1.6に示すような駆動力データなどを採取する実験を行った。

更に、詳細な設計及び部品の製作を経て、断面変形状材の内部駆動金型セットを組み立てた。図-3.2.5にその組み立て例を示す。中央に駆動ロッド2本が合せており、その外周に保護管がある。形材を規定する駆動金型は下の金型ホルダー内部に設置されている。



図-3.2.5 断面変化型材の内部駆動金型セットの組み立て例

押出を実施する場合に、この内部駆動金型セットを駆動機構に連結し、上記外部駆動金型に組み合わせておく。ここでは、内部駆動金型セット単独で試作の実施を行われていないため、次章のサンプル試作の記述において結果を示す。

3.2.3 金型駆動制御操作システムの開発

求める断面変化型材の形状が変われば、一般的に金型の構成や分割及び駆動の制御（金型モジュール）が変わる。それらの金型モジュールの諸元を決定する手段として、コンピュータ操作システム（PC-OS システム）を開発した。

該当システムには、主に

- ・ 製品形状の設定
- ・ 駆動パラメータの計算
- ・ 制御データの転送(PLC へ)
- ・ 動作データの表示(PLC から)
- ・ 非常時の警告と緊急対応

などの機能を組み込んだ。

図-3.2.6 に制御仕様を示す。

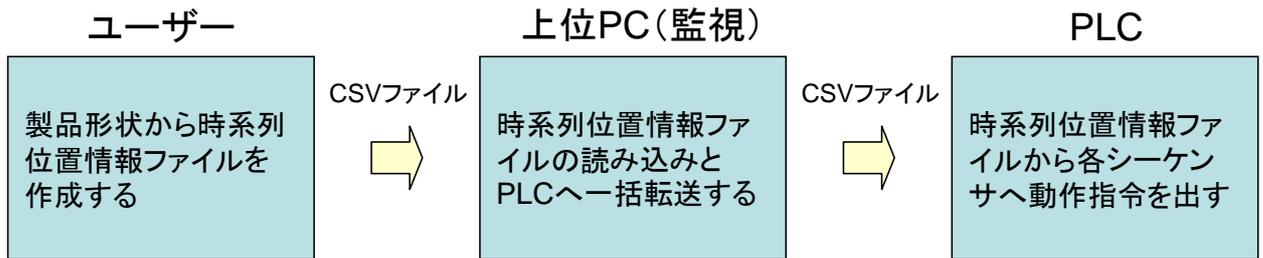
PC はユーザーからの製品情報を受け取り、それにより時系列での金型位置情報を作成する。そしてそれを PLC へ一括して送信する（図-3.2.7）参照。

PLC は各シーケンサーへ都度動作指令を行う。これを受けて各種ラム、金型駆動アクチュエーターが位置指令情報、現在位置情報をもとに制御を行う。

図-3.2.7 には PLC からの PC へ送る情報を示す。サンプリング時間ごとに各種の位置情報、シリンダートルク、温度他を送信する。

図-3.2.8 に、上記情報を出力する稼働中の PC-OS システムのデータ表示画面例を示す。所定設計機能を正常に作動していることがわかる。左画面は、各種制御量を時系列でしめしている。右画面は製作中の押出材の形状をあらわしている。

自動運転制御のメインフロー



時系列位置情報ファイル

| No. | RAM速度 | RAM位置 | シリンダ位置 | | | |
|-------|-------|-------|--------|----|----|----|
| | Vr | Pr | Pc | Pd | Pe | Pf |
| 0 | | | | | | |
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 200以下 | | | | | | |

No.: (実際の時間ではない)
 Vr: ラムの速度 (mm/sec)
 Pr: ラムの位置 (mm)
 Pc: 可動ダイスCの位置 (mm)

 Pf: 可動ダイスFの位置 (mm)

- ・この入力ファイル(CSV)を読み込み、各シーケンサに制御信号を送る。
- ・位置は各シリンダの絶対位置。
- ・基準はラム位置とする。ラム位置と各シリンダ位置の整合性を最優先する。
- ・フィードバック制御は行わない
- ・各シリンダ位置は0.1mm単位。
- ・行数は最大200行

図-3.2.6 PC-OS システムの制御仕様

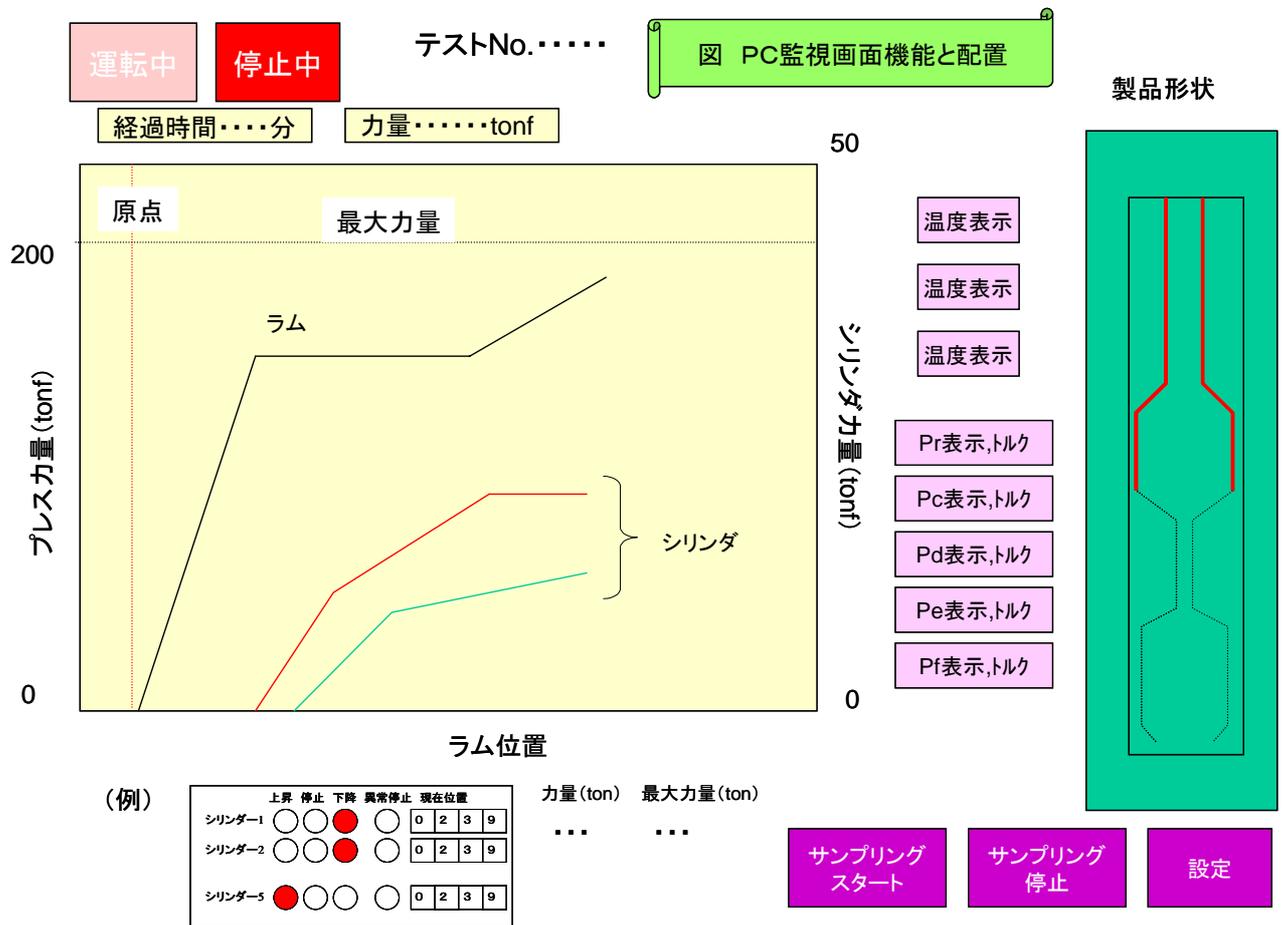


図-3.2.7 PC-OS システムのデータ表示画面例



図-3.2.8 PC-OS システムのデータ表示画面実働例

3.2.4 まとめ

本スタディでは、断面変化型材の外部駆動金型や内部駆動金型及び金型駆動の設計・制御の操作システムを開発した。

その結果として、断面変化型材の外部駆動金型の駆動源（サーボモーター）、駆動機構と金型セット及び試作品事例を図-3.2.10 に、断面変化型材の内部駆動金型の駆動源、駆動機構と金型セットを図-3.2.11 に、PC-OS システムを図-3.2.12 に示す。



図-3.2.9 断面変化型材の外部駆動、金型、試作品



図-3.2.10 断面変化形材の内部駆動、金型セット



図-3.2.11 PC-OS システム

3. 3 モデル部材サンプルの作製と新商品市場の開発

機械制御技術の開発結果及び金型モジュールの開発結果を用いて、断面変化型材のモデル部材の製作を実施した。更にそれらの結果を新商品市場へ導入する探索を行った。

3.3.1 モデル部材のサンプル試作

本スタディでは中実の断面変化型材、中空の断面変化型材のモデル部材を製作した。図-3.3.1 に中実の断面変化型材のサンプル事例を示す。

ここでは、断面寸法 $\square 20 \times 30\text{mm} - \square 40 \times 30\text{mm}$ の間に变化するサンプルである。すなわち、押出の時間経過に従って型材の幅 20mm に対して左右+10mm ずつまで対称に広げたり、幅 40mm で押出されたり、それに対して幅 20mm まで縮めたりして变化させている。



図-3.3.1 断面変化型材の中実サンプル事例

一方、図-3.3.2 には中空の断面変化型材のサンプル例を示す。この事例では、断面外寸法 $\square 30 \times 30 - \square 35 \times 30\text{mm}$ 、厚肉 4mm なので内面寸法 $\square 22 \times 22 - \square 27 \times 22\text{mm}$ である。すなわち、押出時間経過に従って、型材の幅外寸 30mm、内寸 22mm が押し出され、続いて幅外寸 35mm、内寸 27mm に一方のみ（写真では下方側へのみ）広げたり、一定幅で押し出されたり、更に型材の幅外寸 30mm、内寸 22mm に一方のみ縮めたりして变化させている。



図-3.3.2 断面変化型材の中実サンプル事例

上記サンプル事例で示したように、開発した機械制御技術と金型モジュールを用いて、中実及び中空の断面変化型材を製作することができた。

3.3.2 新商品市場の開発

断面変化中空押出型材は軽量かつ高強度の両立に有利ではあるが、まだ実在しない基礎構造材であり、新商品市場の開拓が必要である。

ここでは、モデル部材サンプル構想を用いて候補ユーザーに対して商品開発の打診を行い、新商品の市場性に関わる市場探索を行った。

候補ユーザーへの新商品開発を打診したところ、複数の二輪や四輪車、鉄道車両などの製造メーカーから一様に良い反応を得た。特に、今まで製作できないとして設計を封印された、部材設計側から見た新商品開発の提案に強く共感を得られた。

同時に、技術シーズに基づいた新規事業の創出において、技術開発から事業開発へのステージの移行について基本的なアプローチの方法を含め、本テーマである、断面変化中空押出型材の新事業創出について検討を行った。

その結果、「断面変化中空押出型材は、非常にユニークな技術であり、従来、コストに縛られていた設計の発想が、その縛りが緩やかになったことにより発想が豊かになり、設計の自由度が増し、顧客側の価値が芽生える。すなわち、アルミニウム加工品のコストを低減しながら設計の自由度も向上させる可能性がある。

その顧客の分野は車両分野、モーション・コントロール分野、モバイル分野、土木・建築分野などが位置づけられ、基本的な評価軸である、「市場の魅力」と「自社との関連性」にてポジショニングすると、車両分野と建築分野がもっとも有望な分野と判断できた。そして車両部門でも、特に、二輪車、自転車、より断面変化中空押出型材の特性を活かせる有望な提案開発先と捉えられた。二輪車、自転車については、「目に見える部分の設計に影響を与えるような方向での商品開発が有効である」など、が確認できた。

4 スタディの今後の課題及び展開

4.1 期待される成果と成果の展開

金型を高精度で連携駆動させる機械制御技術及び高性能金型モジュールの開発を行い、目標とする精度を満足するインパクトバーモデル部品を製作可能とする。これにより、自動車用実部材製作への目処を立てることができ以下の展開が考えられる。

4.1.1 アルミニウム製品の採用による軽量化、省エネや新規市場の創出

(1) 自動車用部材への断面変化中空押出型材適用

モデル部品として試作を行うドアインパクトバーをはじめとする、軽量化と強度を両立させるニーズを持つ構造材についての用途拡大が期待できる。

図-4.1.1 にそれぞれ自動車における断面変化中空押出型材対象候補事例を示す。現状でのフレームのアルミ化は一定断面の押出中空型材に各種加工を加えて実施している。断面変化中空押出型材への代替による省工程（リードタイム短縮、低コスト化）と部材設計の最適化というメリットにより、アルミニウム製品の採用が進み、軽量化が可能となる。

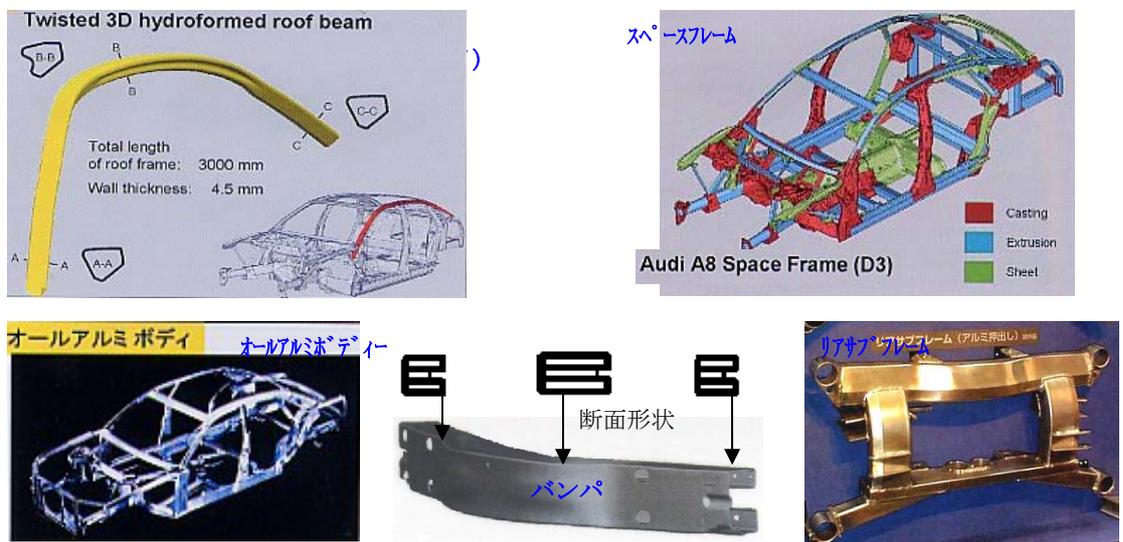


図-4.1.1 断面変化中空押出型材の自動車への候補例

(2) 自動二輪車、自転車用フレームへの断面変化中空押出型材適用

自動二輪車、自転車でのハイエンド商品のフレーム部材は色々の加工手段を駆使し、苦勞しながら変化に「富む」形状を実用化している。本技術を適用すると、フレーム軽量化の最適設計ができるとともに、デザインに応じたフレーム部材をほぼ一加工工程で

提供できる製造システムとなる。図-4.1.2 に二輪車への候補事例を示す。



図-4.1.2 断面変化中空押出型材の二輪車への候補事例

(3) 住宅建築の部材への断面変化中空押出型材適用

デザイン建築では、様々な新しい挑戦が期待されている。例えば、非立方体的な空間デザイン（曲面空間）もその一つではある。デザインや構造強度的最適設計、現実的な部材提供や施工面、これらのコラボレーションから新市場を創出することが期待される。

図-4.1.3 に住宅建築部材での事例を示す。



図-4.1.3 住宅建築部材の応用対象事例

4.1.2 機械システム市場への展開

現状で使用されている断面変化型材は、多くの加工工程を通して最適な部材形状を作り込んでいるため、対象が特殊部材に限定されており市場自体が開けていない。

図-4.1.4 に部材形状をさらに複雑高度化した例を参考として示す。これらが、本開発により一加工工程で簡単に製造できるようになれば、上述フレーム部材をさらに拡張した市場の展開が望め、対象の拡大により必然的にこれらを製造する機械システムの

市場も創出される。

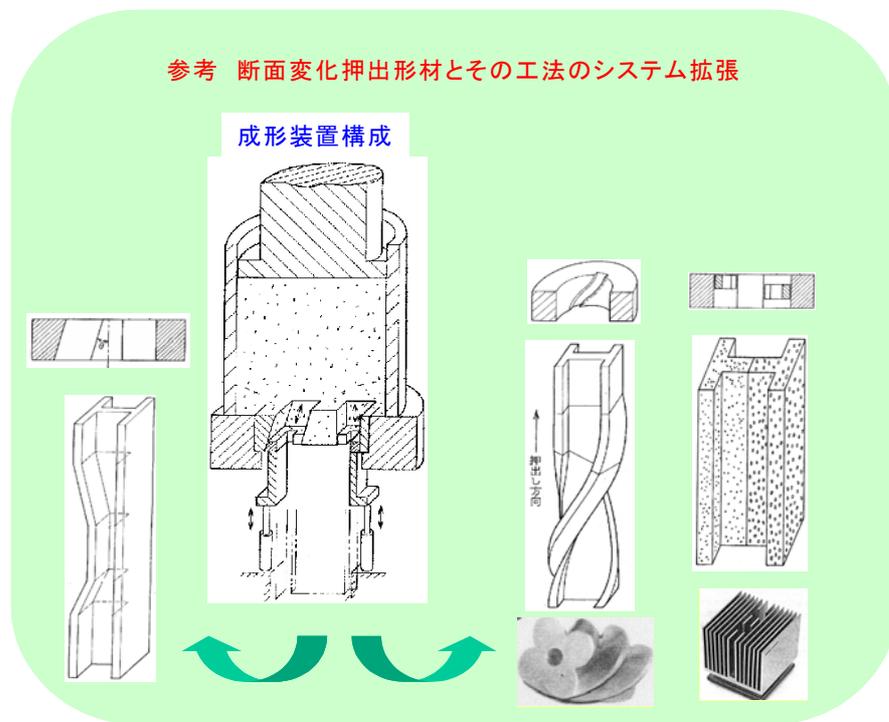


図-4.1.4 断面変化押出型材とその工法のシステム拡張

システム技術開発 19-F-8

断面変化中空押出型材製造機械システムの開発に関するフェージビリティスタディ
(要旨)

平成 20 年 3 月

作 成 財団法人機械システム振興協会
東京都港区三田一丁目 4 番 2 8 号
TEL 03-3454-1311

委託先名 財団法人金属系材料研究開発センター
東京都港区西新橋 1-5-11 第 11 東洋海事ビル 6F
TEL 03-3592-1282