

ものづくり計測技術の高度化に関する調査研究
報告書
— 要 旨 —

平成 23 年 3 月

委託先 財団法人 機械システム振興協会
財団法人 素形材センター



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、防災、都市、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、ますます多様化、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に対応し、各方面の要請に応えるため、財団法人機械システム振興協会では、財団法人JKAから機械工業振興資金の交付を受けて、機械システムに関する調査研究等補助事業を実施しております。

これらを効果的に実施するために、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。

この「ものづくり計測技術の高度化に関する調査研究報告書」は、上記事業の一環として、当協会が財団法人素形材センターに委託して実施した成果であります。関係諸分野に関する施策が展開されていく上で、本調査研究の成果が一つの礎石として皆様方のお役に立てれば幸いです。

平成23年3月

財団法人機械システム振興協会

はじめに

我が国製造業では、国際競争力が激化する中で、経済全体の生産性の低迷、厳しい雇用情勢、エネルギー・環境・リサイクル問題の重要性の増大等、その環境が厳しさを増す中、情報技術革新への対応、企業の事業再構築、グローバル化等の動きが加速しており、経済構造改革の推進の重要性が高まっています。

このような中で、素形材産業は素材に形を与えて機械産業に供給するという、素材産業と機械産業を結びつける重要な役割を担っており、機械産業を中心とする我が国経済発展にとって、素形材産業が今日まで果たしてきた役割は極めて大きく、今後もその重要性に変わりはないでしょう。

技術革新が急速に進む機械産業界にあって、素形材産業は、求められるニーズに即応した機動的な生産体制を確立し、提案型企業への転換、高品質で安価な素形材製品を安定的に供給するため、素形材産業の技術基盤を強化する必要があります。

素形材産業では、CAD/CAM/CAE の進展、新材料の出現、新たなプロセスや型技術等の開発を受けて様々な技術革新が行われておりますが、ユーザニーズの多様化、生産性・歩留り向上、技術・技能の継承、リサイクル・省エネルギー等の諸課題に更に積極的に対応し、素形材産業の活性化を図ることが強く望まれています。

このような観点に立って、本年度、財団法人素形材センターでは、財団法人機械システム振興協会から「ものづくり計測技術の高度化に関する調査研究」について委託を受け、本テーマを推進するために当センター内に「ものづくり計測技術の高度化に関する調査研究委員会(委員長 東京大学生産技術研究所 柳本潤教授)」を設置し、事業を推進してきました。本報告書は、この開発成果をとりまとめたものです。

ここに、本報告書を作成するに当たり、ご指導・ご援助をいただいた経済産業省及び財団法人機械システム振興協会に深く感謝の意を表すると共に、柳本委員長をはじめとする委員会委員及び協力者に厚く御礼申し上げます。

本報告書が関係各方面で十分に活用され、我が国素形材の発展に寄与することを願う次第であります。

平成23年3月

財団法人 素形材センター

目 次

序

はじめに

1 調査研究の目的	1
2 調査研究の実施体制	1
3 調査研究の成果	3
第1章 素形材に係わる計測技術に関する現状と問題点	4
1.1 鋳造における計測技術の現状と問題点	4
1.1.1 鋳鉄	4
1.1.1.1 鋳鉄における計測技術の現状と問題点	4
1.1.1.2 トレーサビリティ構築、異常情報検知の現状と問題点	6
1.1.1.3 計測データの活用の現状と問題点	8
1.1.1.4 熟練技術者に依存しているノウハウの有無	8
1.1.2 アルミ重力鋳造	9
1.1.2.1 アルミ重力鋳造における計測技術の現状と問題点	9
1.1.2.2 トレーサビリティ構築、異常情報検知の現状と問題点	12
1.1.2.3 計測データの活用の現状と問題点	13
1.1.2.4 熟練技術者に依存しているノウハウの有無	14
1.2 鍛造における計測技術の現状と問題点	15
1.2.1 鍛造	15
1.2.1.1 鍛造における計測技術の現状と問題点	16
1.2.1.2 トレーサビリティ構築、異常情報検知の現状と問題点	20
1.2.1.3 計測データの活用の現状と問題点	20
1.2.1.4 熟練作業者に依存しているノウハウの有無	22
1.3 金属プレスにおける計測技術の現状と問題点	22
1.3.1 微細部品プレス成形	22
1.3.1.1 微細部品プレス成形の概要	22
1.3.1.2 微細部品プレス成形における計測技術の現状	24
1.3.1.3 微細部品プレス成形における計測技術の問題点	25
1.3.2 自動車パネル部品プレス成形	26
1.3.2.1 自動車パネル部品プレス成形における計測技術の現状と問題点	27
1.3.2.2 トレーサビリティ構築、異常情報検知の活用方法	30
1.3.2.3 計測データの活用の現状と問題点	30
1.3.2.4 熟練技術者に依存しているノウハウの活用方法	31
1.3.3 プレス機械	31
1.3.3.1 プレス機械の種類及び成形性に関連する付属装置	32
1.3.3.2 プレス機械の高度化と計測技術	33

1.3.3.3	プレス成形システムの課題	38
	第2章 素形材に係わる計測技術のあり方	41
2.1	鋳造における計測技術の将来像	41
2.1.1	鋳鉄における計測技術の将来像	41
2.1.1.1	インサイチュウ (in situ) での計測機能を有する理想ライン	41
2.1.1.2	計測データの活用方法	42
2.1.1.3	計測システム	43
2.1.1.4	個別センサ技術の方向性	44
2.1.2	アルミ重力鋳造における計測技術の将来像	44
2.1.2.1	インサイチュウ (in situ) での計測機能を有する理想ライン	44
2.1.2.2	計測データの活用方法	45
2.1.2.3	計測システム	47
2.1.2.4	個別センサ技術の方向性	48
2.2.1	鍛造における計測技術の将来像	48
2.2.1.1	インサイチュウ (in situ) での計測機能を有する理想ライン	51
2.2.1.2	計測技術の活用方法	51
2.2.1.3	計測システム	53
2.2.1.4	個別センサ技術の方向性	54
2.3.1	微細部品プレス成形における計測技術の将来像	55
2.3.1.1	インサイチュウ (in situ) での計測機能を有する理想ライン	55
2.3.1.2	計測データの活用方法	56
2.3.1.3	計測システム	57
2.3.1.4	個別センサ技術の方向性	57
2.3.2	自動車パネル部品プレス成形における計測技術の将来像	58
2.3.2.1	インサイチュウ (in situ) での計測機能を有する理想ライン	58
2.3.2.2	計測データの活用方法	59
2.3.2.3	計測システム	60
2.3.2.4	個別センサ技術の方向性	60
2.3.3	高度知能化プレス成形システム	60
2.3.3.1	インサイチュウ (in situ) での計測機能を有する理想ライン	62
2.3.3.2	計測データの活用方法	62
2.3.3.3	計測システム	62
2.3.3.4	個別センサ技術の方向性	63
2.3.3.5	シミュレーションとの融合成形システム	63
	第3章 素形材に係る計測に関する技術開発テーマの抽出	65
4	調査研究の今後の課題及び展開	68

1 調査研究の目的

鋳造、鍛造等の素形材技術は、我が国のものづくりの基盤を支える技術として、更なる高度化が求められている。(財)素形材センターでは、平成 20 年度に経済産業省から受託して素形材技術戦略をまとめ、重点技術を抽出したが、各素形材分野において、今後のものづくりにおける計測技術とこれを活用する生産システムの高度化の重要性が指摘された。

すなわち、複雑形状化、高精度・高精密化、高強度化等の製品要望が強まり、生産面では短納期化、開発から製品化までの垂直立上げが求められている。市場と生産拠点のグローバル化が進展する中で、このようなユーザーズに応えるためには、更なる高品質化、高信頼性が求められる。又、熟練技術者に依存してきたノウハウを計測して可視化する技術や、工程中で計測し、生産にリアルタイムでフィードバックするインライン計測も期待されている。

近年、非破壊検査技術や各種のセンサ技術は進歩しているが、素形材分野では、個別の導入と解析はあっても、熟練技術の可視化、ラインの統合的な計測システム化は進んでいない。例えば、鍛造ラインで潤滑皮膜厚さや金型温度等の重要な要素を、高温や騒音・振動等現場環境がよくない条件下で計測する技術、これらの相互関連要素を統合的に解析する技術等が求められている。

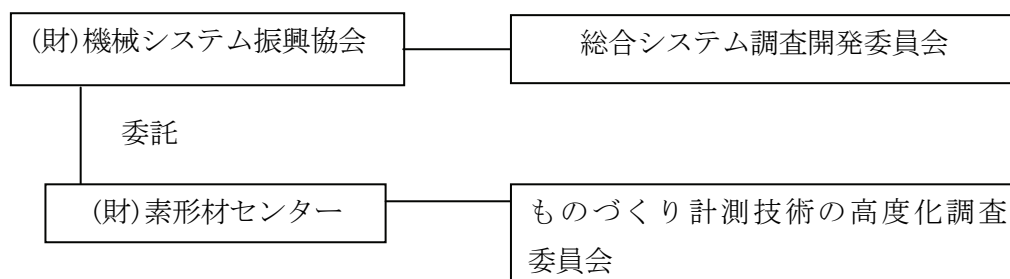
そこで、素形材分野における計測技術の実態を把握すると共に、ものづくりの計測を革新し、インテリジェント化に貢献する計測技術のあり方を検討し、技術開発課題を抽出することを目的として調査研究を実施した。

2 調査研究の実施体制

(1) 実施体制(委員会の設置等)

本調査研究は、(財)機械システム振興協会より(財)素形材センターが委託を受け、実施した。なお、(財)機械システム振興協会内に「総合システム調査開発委員会(詳細は「(2)委員会構成」の①の通り)」を設置し、同委員会指導のもと、(財)素形材センターが調査研究を推進した。

更に、(財)素形材センター内に、素形材分野における技術動向に詳しく、計測技術の適用や展開に関心を有する学識経験者、素形材企業等からなる委員会を設置し、この委員会において本事業の実実施計画の策定、調査研究を行い、得られた成果を報告書にまとめた。



(2) 委員会構成

「(1)実施体制」に示した、総合システム調査開発委員会及びものづくり計測技術の高度化調査研究委員会の委員構成は、以下の通りである。

① 総合システム調査開発委員会（順不同・敬称略）

- 委員長 藤正 巖 東京大学 名誉教授
委員 太田 公廣 埼玉大学総合研究機構 教授
" 金丸 正剛 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
研究部門長
" 志村 洋文 独立行政法人産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門
招聘研究員
" 中島 一郎 早稲田大学研究戦略センター 教授
" 廣田 薫 東京工業大学大学院総合理工学研究科 教授
" 藤岡 健彦 東京大学大学院工学系研究科 准教授

② ものづくり計測技術の高度化調査研究委員会

- 委員長 柳本 潤 東京大学生産技術研究所 高次機能加工学研究室 教授
委員 植杉 浩 株式会社ナカキン 技術部次長
" 加藤 龍彦 新東工業株式会社鋳物事業部 副事業部長
" 田岡 秀樹 ホンダエンジニアリング株式会社 執行役員
" 高橋 進 日本大学生産工学部機械工学科 教授
" 中野 隆志 アイダエンジニアリング株式会社開発本部技術管理室
マネージャー
" 森下 弘一 トヨタ自動車株式会社鍛圧・表改生技部技術企画室 主査
" 楊 明 首都大学大学院システムデザイン研究科 教授
オブザーバ 高橋 秀彦 経済産業省素形材産業室 課長補佐
事務局 板谷 憲次 財団法人素形材センター 専務理事
" 松井 健治 財団法人素形材センター 企画部長
" 笹谷 純子 財団法人素形材センター 業務部長
" 佐藤 久美子 財団法人素形材センター 業務部次長
" 田邊 秀一 財団法人素形材センター金属材料技術部 主幹研究員
" 浅賀 俊輔 財団法人素形材センター企画部 主任

3 調査研究の成果

本調査研究では、素形材センター内に、素形材に係る計測技術の動向に詳しく、プロジェクト化に関心を有する学識経験者、素形材企業等のメンバーからなる委員会を設置し、以下の調査研究を行った。

(1) 素形材に係る計測技術の現状に関する情報収集

鋳造、鍛造、金属プレス等の素形材について、寸法、欠陥、物性値等を計測する技術の現状と問題点を調査する。特に、可視化すべき熟練技術者のノウハウや、検知すべき異常情報を把握する。更に、トレーサビリティシステムの構築の現状と、計測データ活用の現状と問題点を把握した。

(2) 素形材に係る計測技術のあり方に関する検討

それぞれの分野において求められている計測技術に関する技術開発テーマについて検討し、以下の項目について検討を行った。

- ① インサイチュウ(in situ)での計測機能を有する理想ライン
- ② 計測データの活用方法
- ③ 計測システム構築の検討
- ④ センサ技術

(3) 素形材に係る計測に求められる技術開発テーマの抽出

(1)～(2)の調査結果に基づき、具体的な技術開発テーマを抽出した。

以下に調査研究の結果を示す。

第1章 素形材に係わる計測技術に関する現状と問題点

1.1 鋳造における計測技術の現状と問題点

1.1.1 鋳鉄

本章では、鋳鉄鋳造において鋳型の主力造型プロセスである「生型」法での「機械込め」を主に、そして、自動車部品等の小物大量生産を念頭において報告する。

1.1.1.1 鋳鉄における計測技術の現状と問題点

鋳鉄生型鋳造での一般的な工程のフローを報告する主要な計測に係わる事項を図1.1.1.1に示す。

「鋳造」は図1.1.1.1に示すように一般に砂で形成された鋳型の空間（キャビティ）に溶けた金属（溶湯）を流し込み、空間の空気と溶湯を置換させ、凝固させて金属製品を得る手法である。すなわち、鋳型（砂型）と金属（溶湯）が車の両輪で鋳物の品質、コスト等を決定する主要な因子である。そのために多くの計測技術が用いられている。

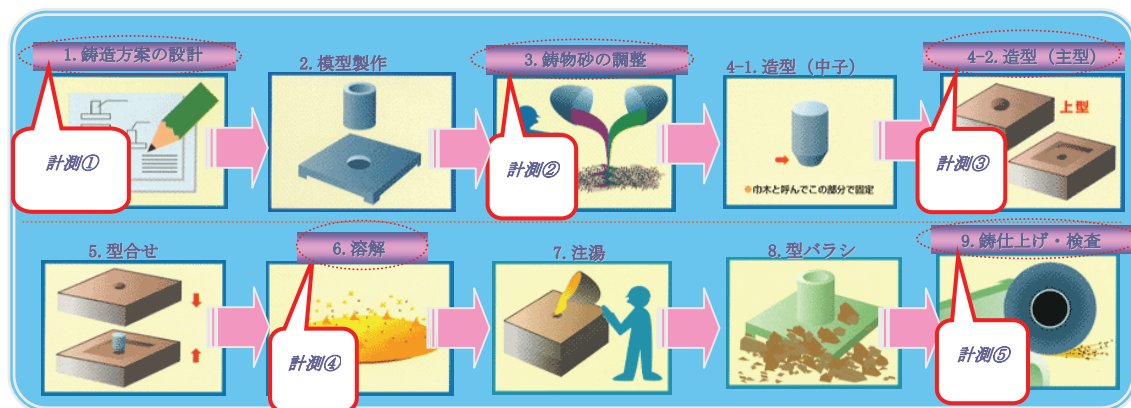


図 1.1.1.1 鋳鉄生型鋳造の一般的な工程のフローと主要な計測箇所

鋳物作りの第1歩は図1.1.1.1の計測①の「鋳造方案の検討」である。これは保有する鋳造ライン、溶解設備等を考慮し、又、コスト、品質、納期等も方案で検討する。品質は鋳物においては「溶湯」と「鋳型」が車の両輪であり、「溶湯」では溶解材質、成分管理値、使用原材料・副資材の品質や配合、溶解手段（電気炉、キューポラ）、溶解方案等の検討を行う。現状の溶解に関する各上記事項については、ほぼ各社標準化されていると考える。

次に鋳型である。この工程の現状と問題点を図1.1.1.2に示す。近年、製品図は3D描図が多くなってきている

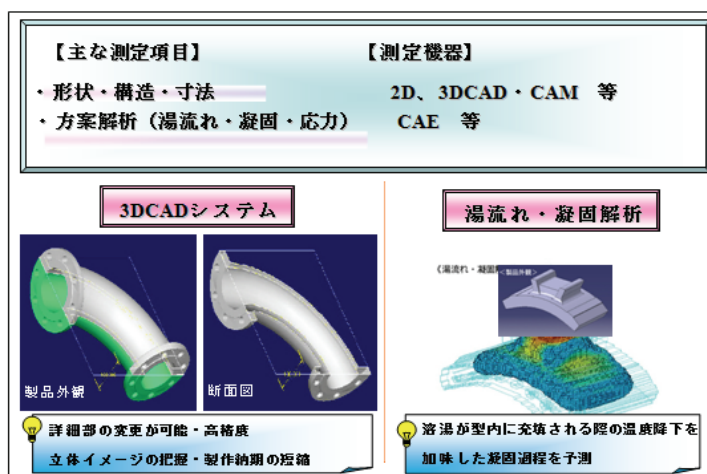


図 1.1.1.2 鋳造方案の検討における計測項目と測定機器の1例

ので、その図を元に湯流れ・凝固解析を行い、巣や変形の検討を行って鑄造方案（湯道、押し湯等）を含めた模型検討を行う。そして試験吹きを行い、必要に応じ、模型、湯道等の修正後に量産開始という流れが多くなってきている。一般的に3D・CAD/CAMによる模型、鑄造方案作成には殆ど問題ないが、CAEの精度、計算時間に問題が多い。

次に、計測②の鑄物砂調整工程、計測③の造型工程は、基本的には鑄型づくりのための工程である。計測②の1例を図1.1.1.3に示す。この工程での問題は、各社基本となる砂、使用する副資材が種々あり、各社各様の管理、計測基準になっているのが現状である。例えば、鑄鉄鑄造用の砂においては、天然けい砂（日本の場合、殆どが粉碎砂）

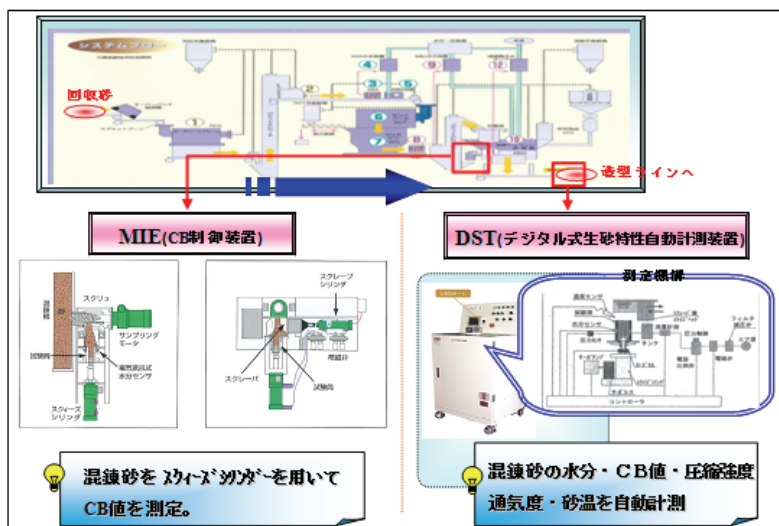


図 1.1.1.3 鑄物砂調整工程における計測項目と測定機器の1例

又は、人工けい砂が使用されている。この場合、砂の形状が塊状から球状、又、耐火度の違い等がある。又、広く鉄系鑄物としてとらえると砂はけい砂だけでなく、クロマイト砂、オリビン砂、ジルコン砂等多くの種類がある。そのため、各社各様の基準、計測がなされているのが現状である。しかし、それらの要求に応えるための計測手段は殆どオンライン計測かオフライン計測かの違いはあるにしても揃っていると考える。又、機械込めの稼動条件や状況、造型機、ラインの異常、造型条件等のトレーサビリティについても、ほぼ問題なく行える手段は存在する。

鑄型の次は、「溶湯」の性状である。図1.1.1.4にその1例を示す。これは、鑄鉄の溶解手段として大きく「キューポラ」と「電気誘導炉」があり、近年は電気誘導炉が殆どで、その誘導炉も「低周波」「高周波」と大別されるが溶解効率、溶解速度の観点から高周波誘導炉が主流になってきている。これらの炉の詳細は省略する。本章においては、溶解された溶湯の計測に関するものだけに限定すると、現状は成分分析、溶湯温度、注湯温度等の計測手段は殆ど問題なくある。溶解溶湯の元湯

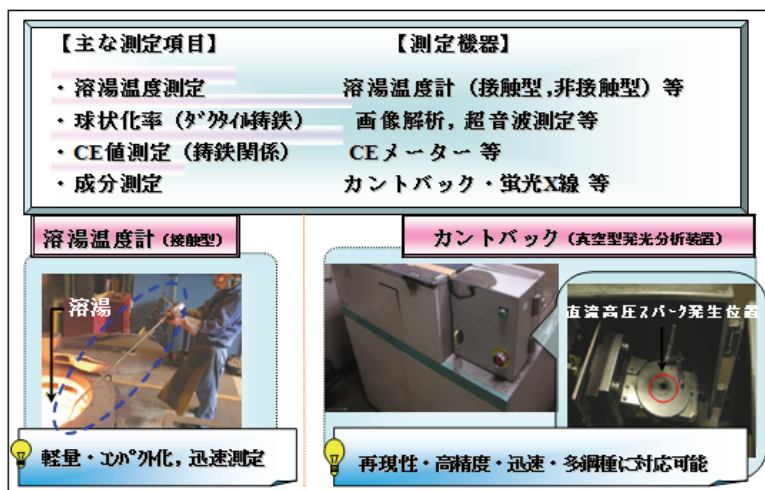


図 1.1.1.4 溶解工程における計測項目と測定機器の1例

現状は成分分析、溶湯温度、注湯温度等の計測手段は殆ど問題なくある。溶解溶湯の元湯

の管理には問題が殆ど無いが、注湯後の材質、材料検査には時間がかかっているのが現状である。

最終工程である「検査工程」についての1例を図1.1.1.5に示す。この工程では、最終製品の出荷仕様にあわせて寸法、材質、組織、機械的性質、表面性状、内部性状等を計測している。検査内容は顧客との出荷検査基準もしくは各社独自の自社規格にて、殆どが寸法等は抜き取り検査で、ロット管理している。基本的にはそれらの計測に必要な手段は存在するが、例えば内部欠陥の判定において、X線透過、超音波探傷等の手段はあるが、コスト、時間、又取り扱いの資格や装置の管理等問題が多いのが現状である。又、材質検査においても、製品から試料を切り出し、研削—研磨を行う作業は多大な時間を要しているのが現状である。

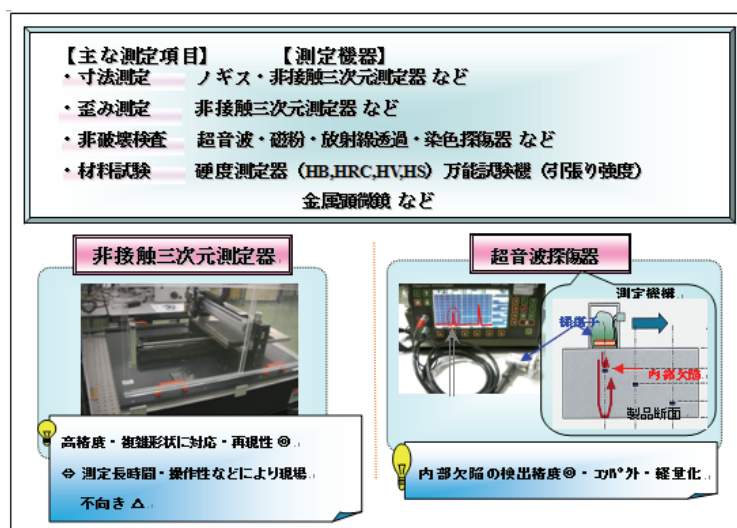


図 1.1.1.5 検査工程における計測項目と測定機器の1例

測に必要な手段は存在するが、例えば内部欠陥の判定において、X線透過、超音波探傷等の手段はあるが、コスト、時間、又取り扱いの資格や装置の管理等問題が多いのが現状である。又、材質検査においても、製品から試料を切り出し、研削—研磨を行う作業は多大な時間を要しているのが現状である。

1.1.1.2 トレーサビリティ構築、異常情報検知の現状と問題点

鋳鉄鋳物のトレーサビリティについては、理想は1個毎にトレーサビリティがとれることが求められている。しかし、現状は造型や溶解毎のロットでの管理になっているのが殆どである。それは鋳型として砂型を使用し、多数個込めが多い、又、模型に木型を用いる場合が多く識別番号を1個毎につけづらい、溶解量が決まっている等の理由が挙げられる。

溶解工程においても同様であるが、鋳鉄鋳造の場合は溶解後に球状化処理、接種処理等があるため、単に元湯管理だけでは問題が生じる場合もある。又、鋳鉄鋳造の特徴の一つとして、「材質」がある。例えば普通鋳鉄のFCはJISにおいても成分規定はなく、単に機械的性質が肉厚毎に規定されているに過ぎない。これは、鋳鉄の特性である「黒鉛」の形状、大きさと母地組織が注湯成分、温度、又接種という処理工程と鋳型の種類による凝固速度の違いによって大きく異なる。そのため、鋳型、溶解だけの工程管理だけでは製品保証ができない。

すなわち、鋳型も溶湯も管理値内に入ったものしか製品としては、後工程に流れないようにってきている。しかし、それは現時点での技術的には可能であり理想であるが、保有する設備がそれら全てに対応しきれていないのが、殆どである。

最近の造型機械に搭載されているものの中からいくつかを図1.1.1.6に示す。

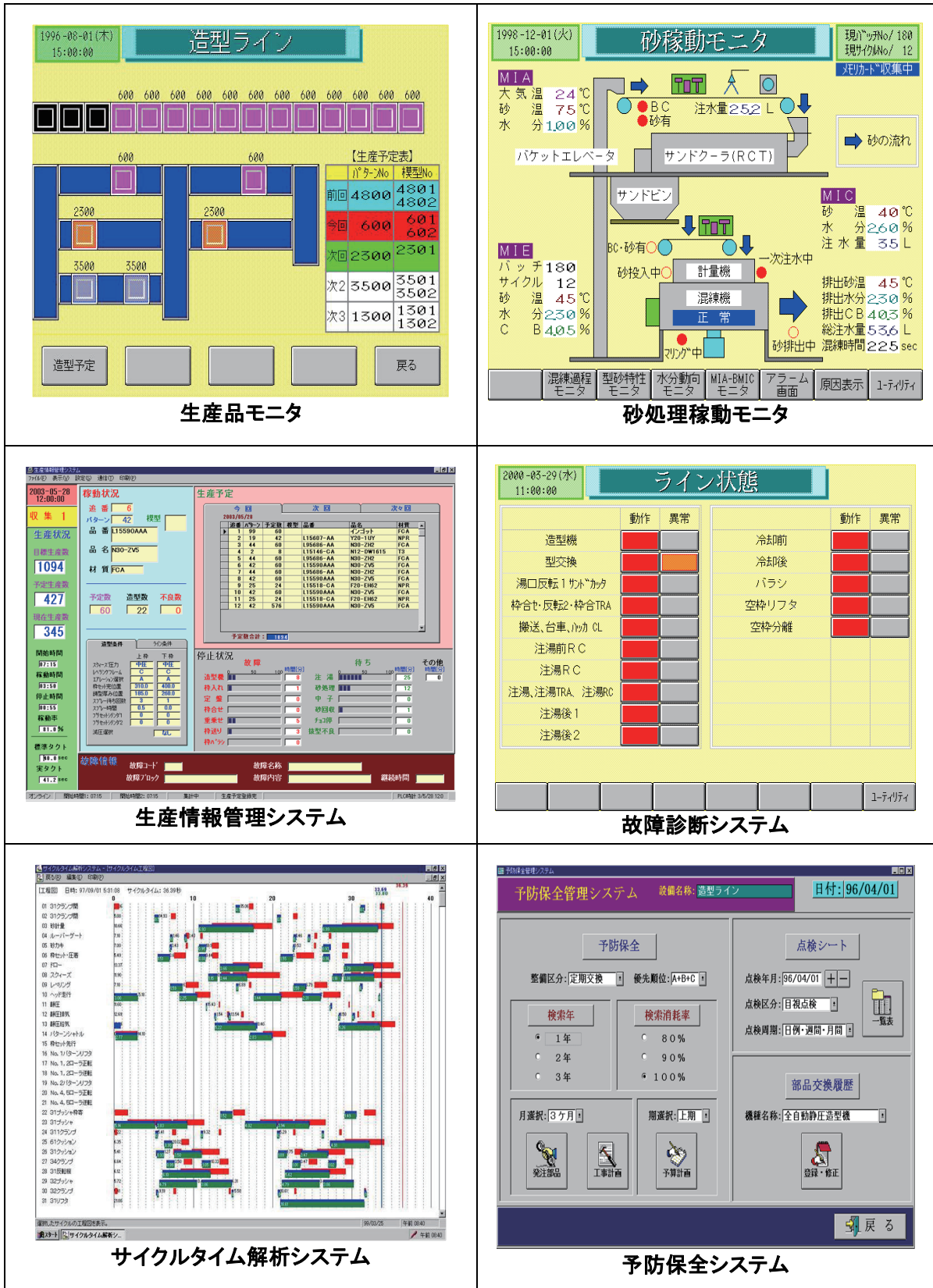


図 1.1.1.6 生型造型機に搭載されているトレーサビリティの例

1.1.1.3 計測データの活用の現状と問題点

計測データの活用は種々の目的で活用されているので、以下に大別する。

- 1) 製造の各工程内の管理基準との合否判定用。
- 2) 製品の検査基準との合否判定用。
- 3) 次期製品設計、開発のためのデータ収集用。

1) の製造工程での各管理基準との合否判定では、管理基準外のものは管理値内に入るように調整する。但し、砂の水分値等は、前工程で測定した値を元にフィードフォワード制御にて水分を添加して、造型機に供給したり、先に造型した時のデータをフィードバックして制御している。又、製造工程での管理基準の合否判定に用いられるデータはその設備稼働に必要なものは図 1.1.1.6 で示すようにほぼ活用されている。

トレーサビリティとしてみた場合、管理基準値と計測データのエビデンスが体系的に、一元化された生産状況の全てが一括管理するためのシステムの構築には、多大な費用と時間がかかり、個別に行われていることが多い。

2) の製品の出荷検査基準との合否判定は、製品毎に求められる事項が異なるため一概に記すことはできない。しかし、多くの鋳物メーカでは、内部巢（鋳巢、砂かみ等）、寸法不良、材質異常がクレームの大半である。全数検査（検査項目数、内容によって意味合いが異なる）をすることが次工程に不良を流さないの である意味理想であるが、検査に要するコスト（時間もこの中に入れる）とその製品のプライスとの比較になっているのが現状である。

3) の次期製品設計、開発のためのデータとしては、方案シミュレーション精度の向上、シミュレーション時間短縮のためのデータ蓄積が主流である。

1.1.1.4 熟練技術者に依存しているノウハウの有無

一般的に鋳物品質で不良が発生する場合は、朝や昼の機械稼働直後の数枠、又、模型交換直後の数枠ということが言われることが多い。これは、機械稼働直後は砂の混練から砂投入までに時間的ギャップが生じ、砂の中の水分が変動している場合が多いためである。これらは熟練技能者が経験的に身につけている。これらの問題についても近年、装置の配置、データサンプリングの場所やタイミングを検討した装置、ライン設計が行われてきている。鋳造方案決定の際に、熟練技術者のノウハウをシミュレーション精度の向上にて、補おうとしている。しかし、鋳造方案の決定にはノウハウに依存するところは非常に大きい。又、一般的に熟練技術者のノウハウが要求される「手込め」造型の場合は、方案だけではなく、中子のセット方法、枠あわせには技能が要求され、今でも大きな問題である。又、製品個別の工程内管理値等の設定等においては、熟練技術者の経験が必要な場合も多く、個別の製品を作る場合、単に計測データが適正であるかどうかの判断は経験が必要であることが現実である。すなわち、鋳造工学がある意味「経験工学」であるといわれる所以であると考えられる。

1.1.2 アルミ重力鋳造

アルミニウム合金鋳造は一般に砂型鋳造、金型鋳造、ダイカスト、特殊鋳造（Vプロ、ロストワックス等）に分類され、その用途の約90%が自動車産業である。本項では、中空複雑形状で高品質部品の製造が可能な金型重力鋳造法（以下、グラビティ鋳造という）を用いた、自動車エンジン部品のトレーサビリティを確保した量産ラインの事例を念頭において報告する。

1.1.2.1 アルミ重力鋳造における計測技術の現状と問題点

グラビティ鋳造（傾斜式）は上型、下型、横型というそれぞれの金型があり、その金型の間でできたキャビティ部に湯口から湯道を通して溶けたアルミ合金（溶湯）を重力で鋳込み、凝固後に金型が開いて製品を取出す方法である。

鋳造工程は「溶解」、「中子成型」、「鋳造」、「砂処理」、「仕上げ」、「素材検査」の工程に大きく分けられるが、ここで取り上げるラインのフロー並びに自社グラビティ鋳造（傾斜式）のイメージを図1.1.2.1に示す。

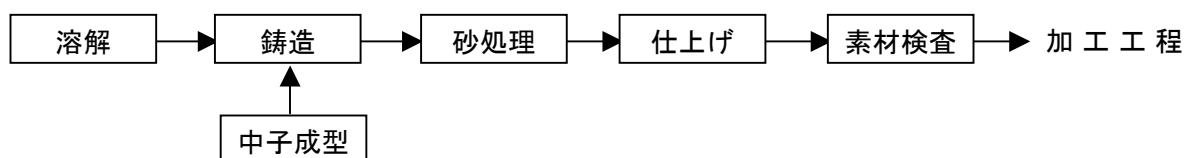


図 1.1.2.1 グラビティ鋳造工程

鋳造品は上記のように様々な工程を経由して製造されているために、各工程で多くの測定技術が用いられている。以下に工程毎の測定について説明する。

アルミ鋳造で使用されるアルミ鋳造用合金は、地金材料メーカからインゴットとして購入し、材料購入時にメーカ製造ロット毎のミルシートが添付される。又、複雑中空形状品のグラビティ鋳造では、シェルモールド法で成型された中子を金型にセットし、鋳造後鋳物から中子を崩壊させて除去する砂処理工程を経て、湯口、押し湯等を切除する仕上げ工程後に、検査を行い完成させる。シェルモールド法は、使用される珪砂に熱硬化樹脂を混練したレジンコーテッドサンド（以下RCS）を昇温した金型に吹き込み充填させ焼成形成する方法で、鋳造業では広く用いられている。RCSも材料メーカから購入し、各鋳造企業の規格に沿った砂粒度分布・レジン含有量等がミルシートに添付されて納入される。

グラビティ鋳造では溶湯温度と金型温度は品質との密接な関係をもっており、安定した温度を保持管理することが最重要項目である。溶解工程の計測は主に溶湯温度・成分分析測定である。

1) 溶湯温度測定

集中溶解炉にてアルミインゴットを溶解し、その後鋳造機周辺にある保持炉で溶湯をプールしながら溶湯管理している。集中溶解炉の温度計測は主に溶湯温度、炉内雰囲気温度、排ガス温度等を一括して、最適温度を保持するシステムで、各計測温度はチャート紙へ自動記入され管理されている。

2) 材料成分分析測定

成分分析については集中溶解炉から毎日定期的に溶湯の成分分析を行っている。但し、発光分析装置で材料分析するために、溶湯の材料分析結果がでるまで1時間前後のタイムラグが生じているのが現状である（図 1.1.2.2 参照）。

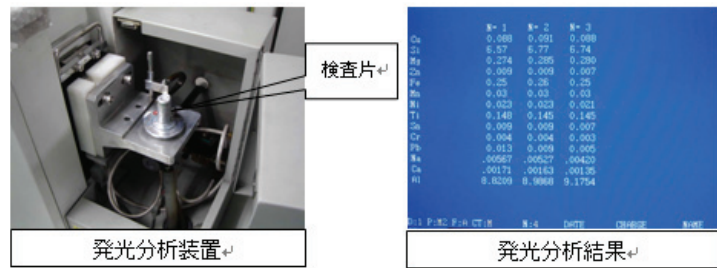


図 1.1.2.2 発光分析による材料分析

保持炉は金型に铸造する前工程で铸造品質に直結する重要な管理設備である。そのため多くのグラビティ铸造はガス炉から電気炉に変更し、安定した温度管理が可能になった。

アルミ溶湯は大気中の水分と反応し、水素が溶湯中に溶け込む。水素が多くなると、凝固時にポロシティ（気泡、気孔）となるために、脱ガス処理により溶湯中の水素ガス量を低く抑える。水素含有量の測定方法としてはピンホールテスター

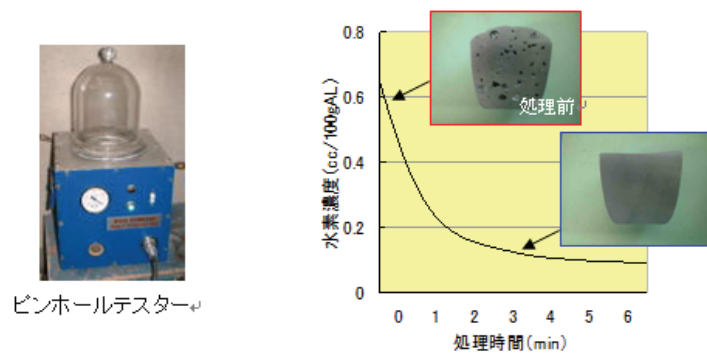


図 1.1.2.3 ピンホールテスターによる脱ガス処理効果確認

が広く使用されている。これは溶解した溶湯をカップに注ぎ真空の雰囲気により水素を膨張させ、溶湯のガス量を判断する方法である。しかし、現時点では観察のみで数値化はできていない。今後は数値化され、溶湯温度と同様に常時測定できることが必要である（図 1.1.2.3 参照）。

続いて鑄物の品質に特に大きく関与する金型温度と塗型厚の計測について現状を述べる。

3) 金型温度の測定

鑄造工程で最も重要な計測として金型温度が挙げられる。金型温度が高すぎると凝固時間が長くなり経済的でなく、逆に低すぎると湯が廻らず欠陥品となる。その最適温度を探し出し設定し、保持することが必要とされる。

一般的には熱電対を金型の内部に設置して常時温度測定を行っている。作業者は温度範囲

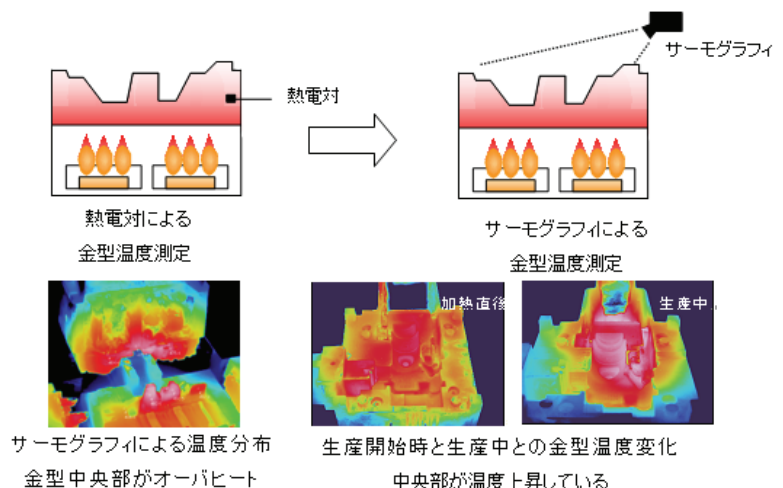


図 1.1.2.4 サーモグラフィによる金型温度計測

内での鑄造作業を行っているが、機械トラブル等で金型温度が低下した場合は、鑄造作業を中断して、ガスバーナーで金型加熱し所定の温度まで上昇させてから作業を再開する。金型温度を測定するための熱電対は各金型表面から数十 mm に設定しているが、実際の金型

表面を流れる溶湯温度や応答性では信頼性に欠ける。多くの金型は温度測定部位を企業の規格に準じて設定しているため、企業の生産している製品の大きさや形状によって金型設定温度管理が変わり、金型毎に個別の温度設定しているのが現状である。又、現在の計測方法は各金型に1ヶ所（上下型の場合は2ヶ所）で、金型全体の温度を測定には及んでいない。特に複雑形状金型では凸部分の金型温度が上昇し、引け巣や引け割れが発生することが多い。凸部に空冷対策等を講じるが、返って周辺温度低下を招き不良が増大するケースもあり、金型全体の温度分布を計測することが望ましい。他の産業では金型温度全体を計測するサーモグラフィを採用している例もあるが、鋳造業では、作業環境が悪いことがネックとなり、普及していないのが現状である（図 1.1.2.4 参照）。

4) 塗型厚の測定

塗型の目的は、金型の急冷効果をやわらげ、製品各部の凝固速度を均一な傾向に近づけ、金型のきらい及び消耗を防ぐことである。塗型剤の塗布には熟練を要し、塗布するときの金型温度、塗布方法、塗布後の厚さ等に注意しなければならない。塗型の厚さはわずかな変化でも冷却能力が変わるので、製品の厚肉部には薄く、薄肉部には厚く塗型する等調節する必要があるが、又、金型の冷却能力を常に一定に保つようにするため、そのつど同様でなければならない。

しかし、完全に自動化はできておらず熟練技術者に依存しているが、熟練者が施してもばらつくことがあり、塗型作業は管理や技術伝承が困難な技術とされてきた。近年、機械による塗型塗布の研究から実用化へ向けて取組み段階へ入っており、自動化が進むものと考えられる。更に塗型厚計測についても現状では計測機器の耐熱性の問題があるので鋳造終了後に金型が冷却されてから測定している。今後は高耐熱性の計測機器、若しくは非接触でも塗型厚が計測できる機器の開発が必要である（図 1.1.2.5 参照）。



接触式による塗型厚測定

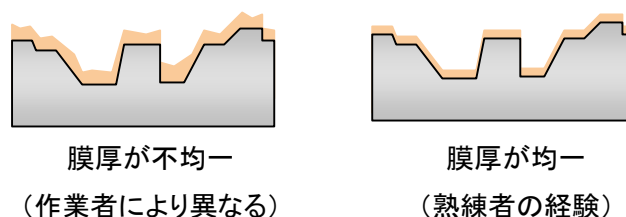


図 1.1.2.5 塗型計測

最終工程では、次の加工工程にあわせて表面性状、内部性状、歪等を検査している。検査内容は顧客との検査基準もしくは各社独自の自社規格にて行われ、殆どが寸法等は抜き取り検査で、ロット管理している。素材の製品寸法確認は図面に指示された部位をケガキ確認する。特に重要な寸法は製品を切断し断面形状や肉厚寸法を確認することが多い。

内部欠陥の判定は、欠陥予想を行った上で、切断する手法が一般的である。現在は非破壊で更に効率よく、正確に判定できる X線透過、超音波探傷等の手段はあるが、コスト、時間、又取り扱いの資格や装置の管理等問題が多いのが現状である。

一方、鋳造では金型方案が製品の良否に多く関わるため、近年では金型製作前に鋳造解析を実施が一般化されてきている。自動車業界では、3次元CADによる部品設計が標準化された現在では、川下自動車メーカからデータを授受し、生産ボリュームに合わせた鋳造機、溶解設備等の生産工程とコスト、品質等を検討する。

金型の鋳造方案検討に当たっては湯流れ・凝固解析を行い事前に方案の最適化を図る。

そして金型完成後に試験吹きを行い、必要に応じ、模型、湯道等の修正後に量産開始という流れになる。

3次元CADが一般化された現在は鋳造方案作成までのデータ作成は殆ど問題ない。中空複雑形状の多いアルミ鋳物の場合、方案が複雑で湯口以外に押し湯やベント（ガス抜き）の設置が重要になる。現在の鋳造解析では、事前に熟練技術者の複数方案を解析し、その中から良好な方案を選ぶ。基本方案は熟練技術者の経験と勘によるもので、最適方案まで解析技術が進んでいない。又、精度を上げるため、解析データをより細かくすることで、容量が大きくなり、計算時間が長いことが問題である。

1.1.2.2 トレーサビリティ構築、異常情報検知の現状と問題点

グローバル化が進み、安全や環境対策に向けた新技術の採用による車両機構の高度化・複雑化等様々な要因で、自動車メーカのリコールや改善対策が急増している。リコール1件当たり100万台オーバーと従来とは桁違いの対象台数になっている場合もあり、2006年頃からリコール対策費用（アフターコスト）が自動車メーカ並びに部品メーカの企業業績を圧迫する問題として表面化している。

重要保安部品が多いエンジン部品はトレーサビリティの確保が重要課題となり、自動車メーカと部品メーカが連携した品質保証体制強化を含めたトレーサビリティ・システム構築が注目されている。その中でもエンジン部品の比率が高いアルミ鋳造品は優先的にトレーサビリティを取入れる方向に向かっているが、現状では1日の生産数によるロット管理が主流になっており、製品1個単位でのトレーサビリティまでには至っていない。又、鋳造は工程別に管理され、多くの場合が各工程の作業日報として紙で作業終了後に報告されている。翌日、作業日報に記入された計測値を再度PCで数値入力を行っているために作業効率が悪く、フィードバックまでに時間もかかっている。

中小企業比率が高い鋳造業は相対的に資本力が弱く、IT化が遅れている。トレーサビリティ構築に際して、売価に上乗せできない構築費用が大きな壁になっている。更に鋳造工場の劣悪環境（工場内温度、鋳造製品温度、粉塵、振動、ノイズ等）に耐えられるシステム構築のハードルも高い。鋳物にトレーサビリティを実施するには、鋳造直後に製品へ直接打刻あるいはレーザによる印画をする手法が挙げられるが、鋳造直後は高温になっており、機器の使用環境温度をはるかに超えている。又、24時間連続安定稼働させるには耐熱温度に加えて粉塵、ノイズ（工場内の溶接機や電動クレーン等からのノイズ）も大きな障害になっている。

ここでは平成18年度戦略的基盤技術高度化支援事業で採択された「鋳造トレーサビリティ・ソリューションによる品質保証システムの開発」の中で行ったアルミグラビティ鋳

造ラインにおけるトレーサビリティを紹介する。

鋳造工場の劣悪環境対策を一つ一つクリアにしながら鋳造工場内のITネットワーク化を図った。鋳造直後の400℃を超える鋳物の表面に直接シリアルナンバーを含めた製造情報を2次元コードに変換して打刻（PINドットマーキング）し、検査工程で2次元コードを読み取り後、タッチパネルから電子化された検査情報（品質情報）を入力し、鋳物の製造情報と品質情報を紐付したシステムを開発した。更には今までトレースできていない作業者の気づき情報や天候（気圧・湿度等の変化）までモニタリングできるようにシステムアップを行った。

現在、このシステムを利用したグラビティ鋳造ラインでは製造情報と各種計測データ（下記トレースデータ）を紐付けした鋳造情報をパソコン画面上でリアルタイムに表示している。これら計測データを一元管理することで、鋳造の各工程情報の変化点をすばやくキャッチして、即日鋳造ラインへフィードバックが可能になり、不良対策が翌日以降のアクションから大きく進化した（図1.1.2.6参照）。

中子造型	中子砂情報	ロットID、メーカ、商品種、入荷日
	中子造型情報	作業員ID、中子パレットID、造型機番号、製造日時、ブロー圧力、焼成温度(2点測定)、工場内温度、湿度
	中子保管条件情報	気温、湿度
鋳造	作業員情報	作業員ID、作業員コード
	製品情報	中子パレットID、鋳造機番号、製造日時、シリアル番号、傾動時間、凝固時間、塗型時間、湯量補正值、溶湯温度、金型開時間、工場内温度、湿度、気圧
	金型情報	金型番号、金型温度

アルミ金型鋳造工程におけるトレースデータ

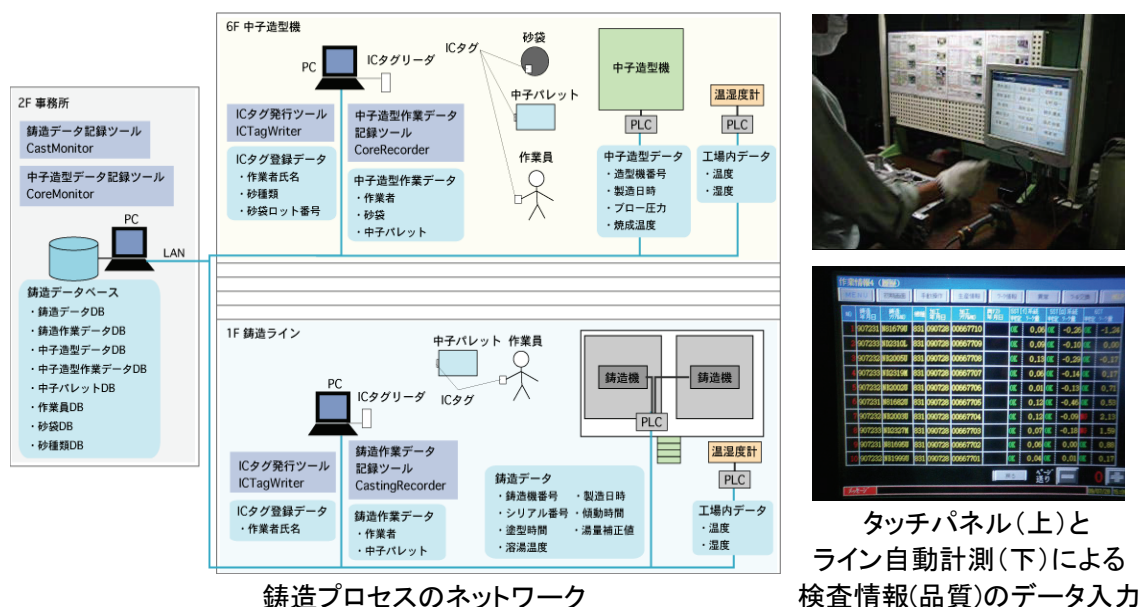


図 1.1.2.6 アルミグラビティ鋳造ラインにおけるトレーサビリティ概要

1.1.2.3 計測データの活用の現状と問題点

計測データは種々の目的で活用されているので、以下に大別する。

- 1) 製造の各工程内の管理基準との合否判定用
- 2) 製品の検査基準との合否判定用

3) 次期製品設計、開発のためのデータ収用

1) 製造の各工程内の管理基準との合否判定用

溶解工程では集中溶解炉・保持炉は管理基準外が発生しないよう電子制御システムで温度管理され安定している。但し、溶湯の材料分析には1時間程度要しているために、仮に規格値を外れた場合、スペックアウトの鋳物の数が増えることが問題となる。

これら管理基準値と計測データのエビデンスが体系的に、一元化された生産状況の全てが一括管理するためのシステムの構築が望まれるが、多大な費用と時間がかかり、多くの鋳造では進んでいない。

2) 製品の検査基準との合否判定用

鋳物の検査基準との合否判定は、歪、湯廻り不良、外観の引け・欠け、砂落ち、内部の中子砂残り、鋳物巣が不具合の大半を占める。全数検査（検査項目数、内容によって意味合いが異なる）をしているが、検査項目が多く、検査に要する時間が生産性やコストにも大きくウェイトを占めている。又、検査の見落としによる不具合もあるため、歪や外観検査等はカメラによる自動判定が作業負担を軽減させ、品質安定化につながる。内部の中子砂残りは現在、内視鏡を利用しTVモニターで目視確認を行っているが、内視鏡カメラが届かない場所や内部の鋳物巣は非破壊欠陥検査ができるX線やUT等が有効と考える。

3) 次期製品設計、開発のためのデータ収用

次期製品設計、開発のためのデータとして、多くは方案シミュレーション精度の向上、シミュレーション時間短縮のためのデータ蓄積が主流である。今後、自動車の開発期間短縮と垂直量産を考慮すれば、方案の最適化の精度向上は鋳造業にとって大いに期待するところである。

1.1.2.4 熟練技術者に依存しているノウハウの有無

鋳造は作業工程が多岐に渡り、未解明な暗黙知が熟練技術者による勘と経験に依存している場合が多い。

特にキャビティ内の湯流れや凝固の可視化が困難なために、溶解したアルミの流動測定が課題となっている。熟練技術者が鋳造の際に注目する湯流れは、はじめは早く、途中はゆっくり、最後は素早く押し込めるといった微妙な調整が現場で行われている。

グラビティ鋳造（傾斜式）の場合、金型を取り付けた鋳造機が油圧シリンダで制御傾斜しながらアルミがキャビティに流れ込むため、作業によるバラツキは少ない。しかし、鋳造作業直後や機械トラブルによる復帰直後に不良が多発する。これは、金型温度が所定温度範囲から外れることで、湯廻り不良、かじり、外引けや内部巣が発生すると考える。更に、年間を通して考慮すると、湿気が多い梅雨期に不良が急増し、冬の寒気に湯廻り不良が瞬間的に急増する。これらの問題解決に熟練技術者は金型温度と溶湯温度に加えて、工場内温度、湿度、外気温度等を考慮して鋳造タイミングや金型温度等を微調整しているのが現状である。

一方、鋳造方案はキャビティ内に溶湯を充填するまでの湯口、湯道の形状や大きさ、割合等の最適というものはいまだ確立されておらず、熟練技術者のノウハウが最も必要とな

る。現在、鋳造解析等湯流れシミュレーションを行い、精度向上は進められているが、熟練技術者のノウハウが格段に上回っており、これまで鋳造業を支えてきた熟練技術者の経験やノウハウの技術伝達は重要な課題と考える。

1.2 鍛造における計測技術の現状と問題点

1.2.1 鍛造

(1) 熱間鍛造の特徴と部品例

鍛造とは、常温又は高温で金属材料に金型等の工具で圧力を加え、塑性変形を行わせて所定の形状・寸法に加工する方法である。金属材料の加熱温度によって、高温側から熱間鍛造・温間鍛造・冷間鍛造に分類される。今回は、鍛造分野の代表的な加工方法である熱間鍛造に関する計測技術について報告する。熱間鍛造は、鋼の場合約1,200℃に加熱して変形抵抗を減少させ、展延性が増大した状態で加工する鍛造方法である。

クランクシャフトは、エンジンの振動騒音を低減するため、剛性を必要とされており鍛造品が主流となっている。鍛造工程を写真1.2.1.1に示す。まず、材料の棒鋼を所望の重量に切断する。1,200℃前後に加熱した材料を予備（つぶし）成形、荒地成形、最終形状を造りこむための仕上げ成形をする。次に、外に余肉として張り出した“ぼり”をトリミングし、最後に曲がり矯正のためにコイニングをする。

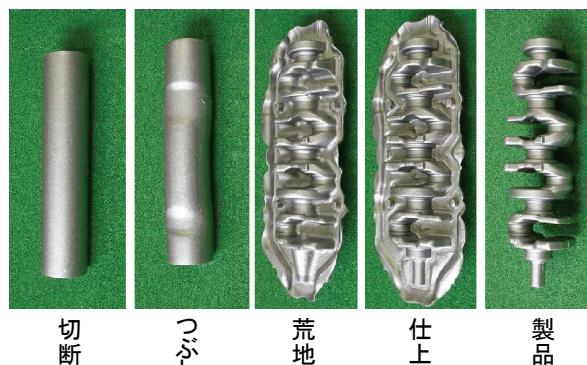


写真1.2.1.1 クランクシャフトの熱間鍛造工程

(2) 鍛造品の不具合とその原因

鍛造品の不具合の種類としては、鍛造時の材料流動性等に起因する欠陥と寸法精度不良の二種類がある。欠陥の事例としては、素材が金型に充填しない「欠肉」や、金型の中で材料が変形中に衝突して発生する「しわ傷」、酸化スケールが金型に凝着して製品に転写して表面が荒れる「あばた」等がある。寸法精度においては、熱間鍛造での素材加熱時の温度ばらつきや、鍛造時の型精度ばらつき、プレス下死点のばらつき等による影響や、金型摩耗等による寸法精度の経時変化等がある。図1.2.1.1に欠肉不良とあばた不良の形態を示す。

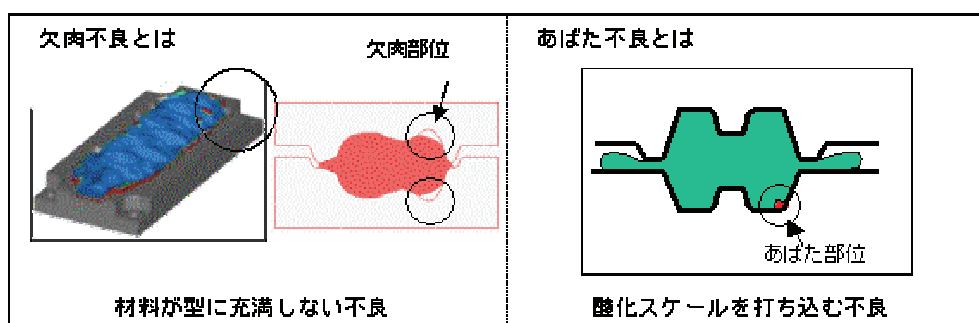


図1.2.1.1 鍛造品の不良

1.2.1.1 鍛造における計測技術の現状と問題点

鍛造における計測技術は、大きく分けると 1) 製品(素形材)自体の計測 2) 成形条件(加工点)の計測、に分けられる。製品計測における計測項目としては、寸法精度、形状検査や欠肉、しわ傷、あばた等の欠陥検査があり、条件計測では、素材の温度、成形荷重、成形面圧、金型の温度や摩耗量、潤滑液の流量や液圧・潤滑膜の厚さ、プレス条件(下死点位置、成形応力、面圧、荷重、作動油温度、フレーム・ベッド・ラム温度)や搬送精度等がある。プレス条件の計測では、歪ゲージや熱電対等を用いている。又、プレス下死点位置はギャップセンサ等で、荷重はフレームの伸びを歪ゲージで計測している。但し、位置精度に関しては製品精度を決定する金型上下の隙間を計測できている訳ではなく、荷重も実際の金型への負荷を計測できてはいない。

現状の計測技術全般の問題点としては、計測対象や計測方式を限定しない一般論として、鍛造の特性である「高速での生産(短いサイクルタイム)」「劣悪な環境(高温、多湿、スラッジ、振動等)」等の障害により、必ずしも期待通りのデータが取れないことが多い。又、計測技術自体の能力がニーズに追いついていない場合(例:放射率変動によるサーモグラフィの計測誤差の問題や、目視検査に近い自動検査等)があり、ブレークスルーが望まれる。個々の要素についての計測技術の現状と問題点について述べる。

(1) 製品自体の寸法、欠陥の計測技術の現状

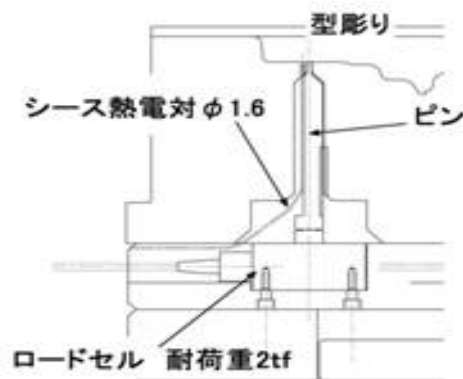
製品自体の寸法検査としては、従来は接触式の寸法計測機(ノギス、ゲージ等)を用いていたが、近年は非接触式のレーザスキャナー等で輪郭精度を計測している。例えば、製品を回転させながら2次元レーザセンサによりスキャニングし、点群データから欠肉量・寸法を求める方法等が開発されている。但し、鍛造の生産速度に追従させようとする製品のハンドリングを含めた計測速度に問題があり、全数を精度よく計測することは困難である。現状では、測定誤差として数十 μm 程度が限界である。

製品の欠陥検査としては、例えば、表面欠陥(しわ傷、あばた等)については、磁気探傷検査や目視検査が一般的である。しかし、それらの計測方法では良否判断基準が人に依存しているため、必ずしも正確に計測できているわけではなく、ともすると安全側での判定基準になってしまう。そこで近年では、人の判断に頼らなくて済むように非接触式の画像計測が試みられているが、検査速度、判定速度の面で課題が多く、検査範囲と基準が限定的な場合にしか適用できていない。

(2) 鍛造工程での計測技術の現状と問題点

〔1〕成形荷重・面圧計測

成形工程での計測においては、一番重要な項目として成形に必要な荷重や面圧が、設備能力や金型強度の限界を超えていないかを監視することである。成形荷重は、一般的に設備のフレームの弾性伸びを、歪ゲージ等を用いて計測する。

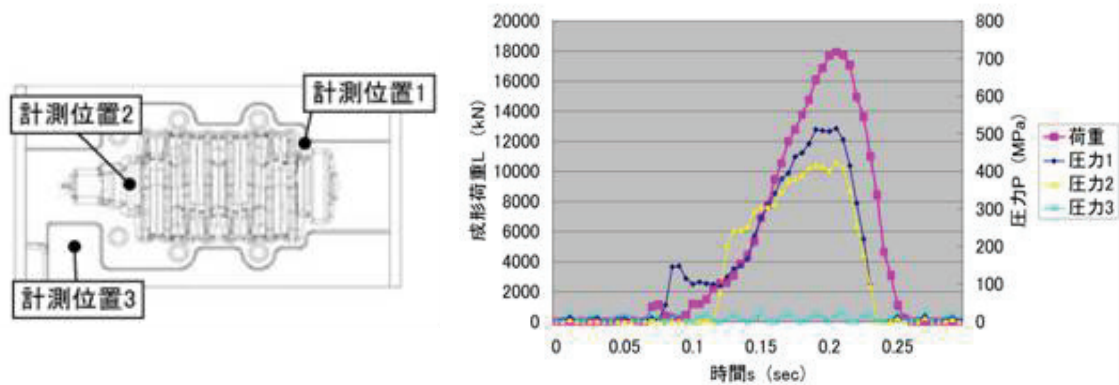


出所:平成18年度戦略的基盤技術高度化支援事業、鍛造金型寿命向上のための支援システムの開発成果報告書 p.7

図 1.2.1.2 ロードセル、ピンの配置

一方、成形面圧は、理想としては局部的な計測ができることが望ましく、小型のロードセルを用いて局部面圧を計測している例もある。但し、曲面では正確な計測ができない等の難点があり、一般的には金型全体に負荷される荷重を成形面積で除した、いわゆる「平均面圧」で処理することが多い。平成18年度戦略的基盤技術高度化支援事業「鍛造金型寿命向上のための支援システムの開発」によると、成形面圧の計測は、材料の圧力を伝達するピンを用いて、ロードセルにて計測する。ロードセル及び圧力を伝達するピンの配置を図1.2.1.2に示す。

成形荷重と成形面圧は密接な関連があるので、実際に計測したデータの理論面からみての確からしさを検証するために、しばしばデータの整合性を確認している。例えばクランクシャフト鍛造において、任意のショット数における成形荷重の計測結果を図1.2.1.3に示す。計測位置3はノイズ計測用として内蔵したものであるが、計測前後で安定していた。すなわち、ノイズの影響はないことが確認できた。又、面圧のピークと成形荷重のピーク発生時刻は、ほぼ一致した^{1.2.1)}。



出所：平成18年度戦略的基盤技術高度化支援事業、鍛造金型寿命向上のための支援システムの開発 成果報告書 p.9

図1.2.1.3 ロードセルによる成形荷重と金型面圧計測データ

〔2〕成形条件計測

次に重要な項目は、金型の耐久性に影響する因子を計測することである。鍛造は、他の加工方法と比較して高温、高面圧での成形なので、金型に対する機械的負荷、熱的負荷が大きく、金型寿命の確保が大きな課題である。例えば、機械的負荷が大きいと金型に割れが発生するし、熱的負荷が大きいと金型が軟化して摩耗が発生する。

又金型温度は、加工中の被加工材の温度に影響を及ぼして変形抵抗を増大させたり、潤滑剤の性能にも影響を及ぼして摩擦係数を増大させる等、成形荷重や成形面圧にも大きく影響する。従って、金型温度を常時適切な温度域に保つ必要がある。そのためには、金型温度を正確に計測し、その温度が適正な範囲になるよう金型の潤滑・冷却条件（潤滑濃度、温度、流量、圧力等）を制御する必要がある。

〔2.1〕金型温度

金型温度の計測には、一般的には、表面温度は接触温度計で、内部温度は熱電対で計測する方法が取られている。しかし、接触温度計では接触圧や接触時間により温度が変化する。しかも、測定タイミングもばらつきが大きくなるため、正確に測定するのが困難であ

る。そのため、近年では表面温度計測にはサーモグラフィを使用していることが多い。内部温度計測は、金型に熱電対を埋め込み、表面数mm下を計測し、表面温度は接触温度計や放射温度計を用いて計測する。しかし、量産現場では熱電対での計測は、金型製作コストの問題や金型交換時の配線作業時間が長くなるため実用化は難しい。

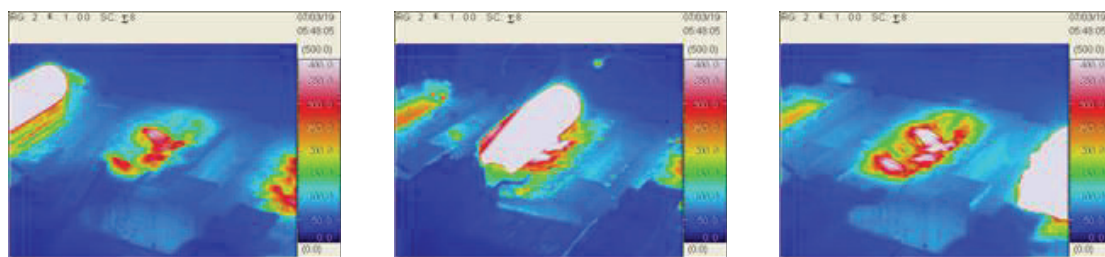
〔2.1.1〕 金型表面温度計測技術の現状と問題点

サーモグラフィを用いた金型表面温度の計測事例を説明する。なお本事例は、平成18年度戦略的基盤技術高度化支援事業「鍛造金型寿命向上のための支援システムの開発」によるものである。写真1.2.1.2にサーモグラフィでの金型温度計測風景を示す。飽和状態（安定領域）での金型表面温度計測結果の一例を図1.2.1.4に示す。サーモグラフィによる計測は放射率の設定により結果が異なってくるので、その設定が重要である^{1.2.2)}。



出所：平成18年度戦略的基盤技術高度化支援事業、鍛造金型寿命向上のための支援システムの開発 成果報告書 p.6

写真 1.2.1.2 サーマグラフィ計測風景



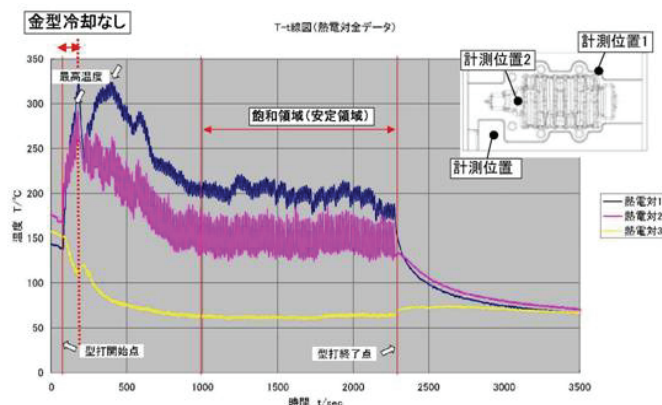
出所：平成18年度戦略的基盤技術高度化支援事業、鍛造金型寿命向上のための支援システムの開発 成果報告書 p.8

図 1.2.1.4 金型表面温度計測結果

〔2.1.2〕 金型内部温度計測技術の現状と問題点

次に、熱電対を用いて内部温度を計測した事例について説明する。なお本事例についても、平成18年度戦略的基盤技術高度化支援事業「鍛造金型寿命向上のための支援システムの開発」から引用した。

熱電対で計測したデータの妥当性を得るためには、鍛造時の金型冷却条件に対する応答や計測時のノイズの有無を確認する必要がある。そこで、鍛造時の金型冷却の有無で2種類の条件を設定しデータを採取して評価が行なわれた。採取したデータを図 1.2.1.5 に示す。



出所：平成18年度戦略的基盤技術高度化支援事業、鍛造金型寿命向上のための支援システムの開発 成果報告書 p.9

図 1.2.1.5 鍛造時の熱的条件調査及び計測ノイズ調査

金型冷却を行わずに連続的に成形を行うと、金型温度が上昇を続けて最高温度を迎え、金型冷却を開始すると金型温度は低下し、熱の収支が均衡したところで飽和領域（安定領域）に入る。今回の計測では、鍛造時の金型冷却の有無で応答を確認した^{1.2.3)}。よって、この結果により定性的には正しい応答が得られていることが確認されている。熱電対 3 は計測時のノイズの有無を確認するために、鍛造時に入熱しない箇所に意図的に装入したものである。鍛造プレス及びインダクションヒータ等の周辺機器、他の熱電対 1 及び 2 の信号をノイズとして拾っている様子は見られない。

〔2.2〕 潤滑・冷却条件

金型温度を常時適切な温度域に保つために、金型の潤滑・冷却条件（潤滑濃度、温度、流量、圧力等）を制御する必要があることは前述の通りであるが、更に金型潤滑は、金型と被加工材との接触面の摩擦力に影響を及ぼし、ひいては成形荷重や成形面圧にも影響する。潤滑・冷却条件に関する計測技術としては、一般的に以下のようなものが使用されている。

〔2.2.1〕 潤滑液流量計測の現状と問題点

潤滑液の流量計測方法は、インライン計測としては、潤滑液の元バルブの流量を、流量計を用いて計測している。しかし、それだけでは金型全体にどのように潤滑液が塗布されたかがわからないので、潤滑液流量計測装置を用いて金型全体の流量分布を計測することがある。但し、この方法は量産設備の中に組み込むことは困難で、量産を開始する前に、潤滑条件を設定するときしか使用できない。

〔2.2.2〕 潤滑液圧計測の現状と問題点

潤滑液の流量は、液圧と噴射時間の積で決まる。潤滑液圧計測は、インライン計測としては、元バルブでの圧力を圧力計で計測する。しかし、潤滑液流量と同様に、金型全体への噴霧圧力分布を示しているわけではない。そこで、圧力分布を知るために行われているのが、受圧センサを用いて圧力分布を把握する試みである。シート状受圧センサを用いて、各潤滑ノズルから噴射された潤滑液が金型全体にどのような圧力分布を呈しているかを調査する方法である。但し、この方法もインラインで計測することはできず、あくまで、生産を中断した状態でないと使用できない。

〔2.2.3〕 潤滑膜厚計測の現状と問題点

潤滑膜が、所望の厚さで形成されたかどうかを確認するためには、潤滑膜厚を直接計測する必要がある。オフラインで計測するのであれば、各種膜厚計測機器が存在するが、生産現場においては短時間で正確に計測する方法が必要とされる。

残念ながら、インラインで正確に計測する方法はなく、生産設備を停止させて計測する試みがなされている。例えば、図1.2.1.6に示すように、金型表面までをナイフエッジで計測、潤滑膜表面をレーザ変位計で計測し、その差を膜厚と読み取る方法である。しかしながら、計測精度は必ずしも良好とは言えず、改善の必要性がある。現段階では、潤滑膜厚のインライン計測技術は確立しておらず、後述するように、量産ラインでは作業者が潤滑膜の付着状況を目で見て良否を判定していることが多い。

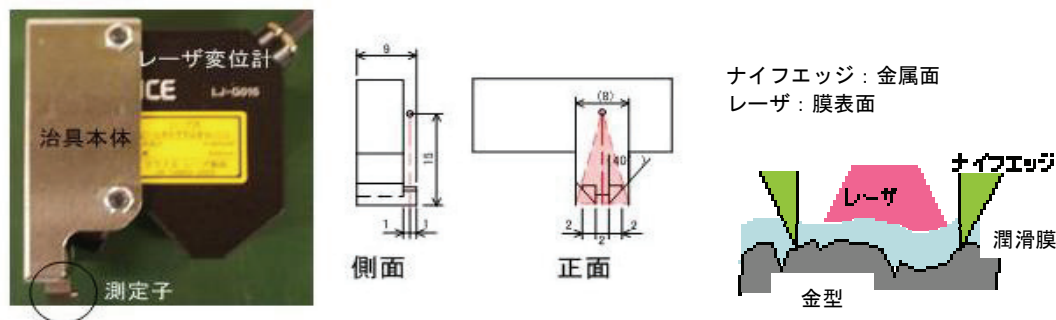


図 1.2.1.6 潤滑膜厚計測装置

このように、潤滑条件の計測では、流量計、圧力計等を使用するが、それらを制御しても一つ一つのノズル毎の塗布量まで精度よく制御することはできない。又、塗布された潤滑膜の厚さを瞬時に精度よく計測できる技術も確立されていない。すなわち、塗布条件と結果（潤滑膜厚さ）の関係が紐付けできていない。潤滑条件に関する現状の計測技術は以上の通りである。

〔3〕金型摩耗量計測

熱間鍛造では、金型が機械的負荷と熱的負荷により徐々に摩耗していくため、金型の寿命管理が必要である。金型摩耗量を三次元計測器で計測し、寿命管理を行うと共に、工程设计改善にフィードバックしている。

金型の摩耗量は、量産の中でリアルタイムに計測できることが理想であるが、現実的には鍛造ロット毎に、プレスから金型を取り出して計測している。但し、短時間で摩耗量を計測することは難しく、計測精度は必ずしも良くない。又、金型表面の面粗度も同時に計測したいが、高速で計測できる機器はない。

1.2.1.2 トレーサビリティ構築、異常情報検知の現状と問題点

製品自体の計測結果と製造条件の計測結果をトレーサビリティ化し、キーとなる条件を改善、管理（例：金型温度ムラの抑制等）することで、製品精度や金型寿命の向上活動に活用してきており、一定の成果を出しつつある。例えば、ある熱間鍛造ラインでは、素材加熱工程での加熱温度、鍛造成形工程での金型温度、成形荷重、型潤滑量等と製品品質（寸法、欠陥の有無）等のデータを紐付けし、品質NGの条件になったときは鍛造生産を中止するようなシステムを取り入れている。

但し、現状の計測技術では工程の観察ないし分析に留まっており、ある程度ラフな管理には対応できるが、計測結果を用いて自動制御することにより工程や品質を高いレベルで安定化させるまでには至っていない。

1.2.1.3 計測データの活用の現状と問題点

(1) 金型温度計測データの活用状況

金型温度の計測結果は、生産現場では主に下記の二つの目的に活用される。

- ① 金型温度の上下限管理を行い、製品欠陥（欠肉等）の流出を防止する。

② 金型の潤滑・冷却状態を把握し、潤滑条件（噴霧位置や潤滑流量）へフィードバックする。

図 1.2.1.7 に金型温度管理による製品欠陥抑制や、潤滑条件の最適化事例を示す。例えば、金型の局部で急激な温度上昇が見られると、潤滑ノズルの詰まり等の不具合が発生したことを知ることができる。その際には、潤滑ノズル詰まりを解消させ、流量ゲージによる流量管理を行って対策の効果を確認した上

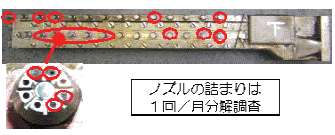


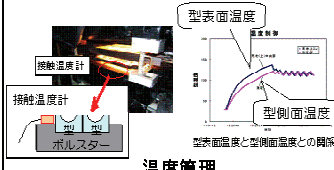
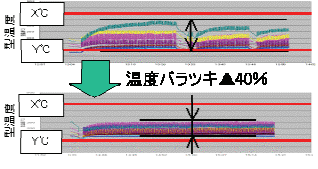
管理項目	対策内容	管理方法
上限値	 <p>潤滑ノズル 詰まりの解消</p>	 <p>流量ゲージによる管理</p>
下限値	 <p>予熱温度見直し</p>	 <p>温度管理</p>
分布バラツキ	<p>対称配置ノズル ↓ 流量均一化ノズル</p>	 <p>温度バラツキ▲40%</p>

図 1.2.1.7 金型温度管理による潤滑条件へのフィードバック

で、金型温度管理により再発可否を判定する。金型温度が下限を割り込んだときには、金型の予熱条件を見直す等の対策を講じる必要があり、ハロゲン等を用いて予熱温度を変更させる。又、金型温度分布にばらつきがあるような場合は、もともとの潤滑ノズル配置を疑う必要があり、必要な部位に必要な流量の潤滑液を提供するようなノズル設計にフィードバックできる。

更に、金型温度データを、CAEを活用して鍛造中の金型強度劣化を予測することにより、予測技術の高度化や金型寿命の改善に結びつけることもできる。

(2) 潤滑・冷却条件計測データの活用状況

最適な潤滑・冷却条件を求めるために、しばしば予めオフラインで実験装置による潤滑剤の塗布量と冷却効果を確認する手法を用いる。量産現場では様々な外乱があるので、潤滑・冷却性能を純粋に評価することが困難だからである。

金型の冷却温度は、塗布量、塗布液圧と吹付時間で決まるので、それぞれの項目を計測しながら冷却温度が適切になるよう条件設定を行っていく。又、ノズル先端での噴霧形態や噴霧タイミングも冷却温度に大きく影響を及ぼすので、高速度カメラ等による噴霧状態の観察も必要である。

(3) 金型摩耗量計測データの活用状況

設定した条件を元に生産現場で潤滑条件の維持・管理をするが、次のステップとして潤滑条件と金型寿命（金型摩耗量）との関係も紐付けをして、潤滑条件の適正化による型寿命改善も図られている。

熱間鍛造における精度・金型寿命を左右する多くの要因の寄与率を実験的に求め、生産現

場での金型寿命改善を行うと共に、そのデータを活用してCAEの高度化を図っている。金型摩耗に影響する因子としては、鍛造時の機械的負荷（被加工材の変形抵抗と変形量等）と熱的負荷（被加工材からの伝熱、加工による発熱等）、それに対する金型強度が挙げられる。

1.2.1.4 熟練作業者に依存しているノウハウの有無

(1) 製品の検査

欠陥の発見、有害・無害の判定は目視検査に頼っているのが現状である。具体的には、現物や写真等で欠陥の限度見本を作製し、作業要領書等を活用して作業員訓練を実施している。

(2) 潤滑状態の確認

潤滑膜の形成状態はインラインでの計測が不可能であり、作業員が皮膜形成状態を目で見て管理している。判断基準としては、潤滑膜が適切に塗布されているか、表面が乾燥しているか等である。その状態を観察しながら、潤滑量を調整している。

(3) 金型補修

金型が摩耗した後の廃却基準については、なかなか定量的に決めるのが難しいのが現状である。一般的には、鍛造時に品質不良（寸法精度、欠肉、しわ傷等）が発生したり、製品が金型に張り付いたりすると金型の補修を行い再使用するが、補修が困難になった場合に廃却する。この金型補修の必要なタイミングと補修量、廃却基準が定量化できず、作業員の経験に頼ることが多い。

[引用文献]

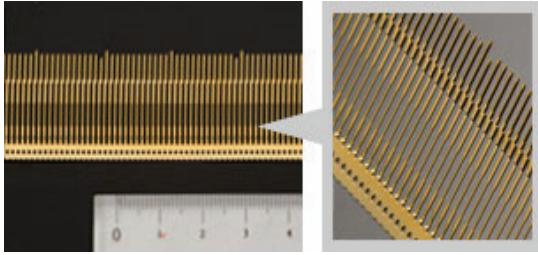
- 1.2.1) 平成 18 年度戦略的基盤技術高度化支援事業、鍛造金型寿命の向上のための支援システムの開発 成果報告書 P.7～P.9
- 1.2.2) 平成 18 年度戦略的基盤技術高度化支援事業、鍛造金型寿命の向上のための支援システムの開発 成果報告書 P.9～P.12
- 1.2.3) 平成 18 年度戦略的基盤技術高度化支援事業、鍛造金型寿命の向上のための支援システムの開発 成果報告書 P.6～P.11

1.3 金属プレスにおける計測技術の現状と問題点

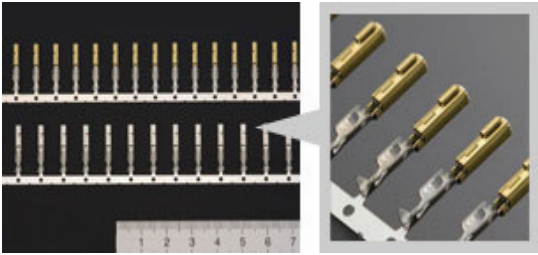
1.3.1 微細部品プレス成形

1.3.1.1 微細部品プレス成形の概要

携帯電話、音楽端末等を含むIT関連機器の小型化に伴い、微細部品の需要が増える傾向にある。小型IT機器内部の機構部品やコネクタ、リードフレーム等微細部品は金属薄材のプレス成形加工によって製造される。写真1.3.1.1には代表的な微細部品例を示す。これらの部品は主に精密板鍛造、曲げ、絞り、抜き等によって製造されるが、順送プレス等によって、複数工程を経て、複雑な最終形状に成形される。



(a) リードフレーム



(b) 微小コネクタ

写真1.3.1.1 微細部品例
(株式会社ティーピーエスご提供)

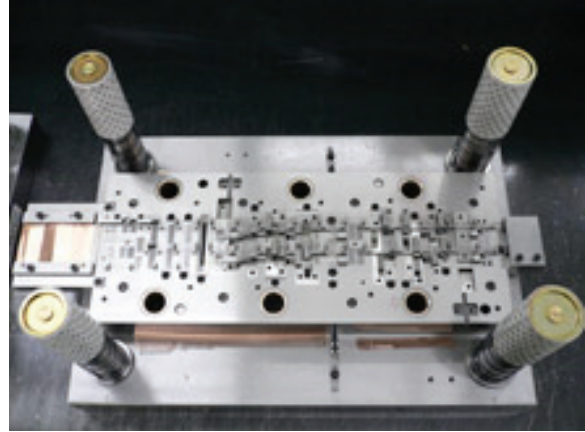
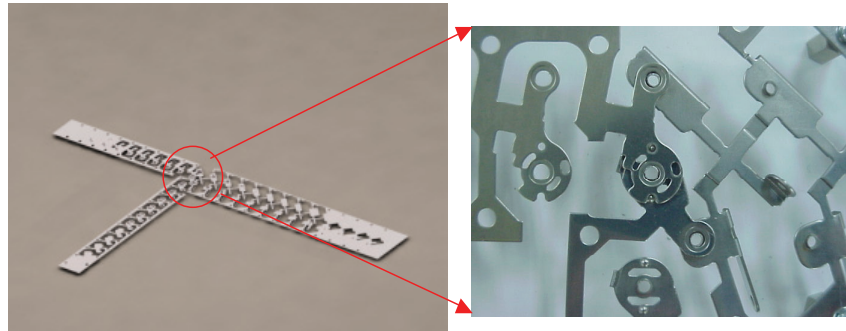


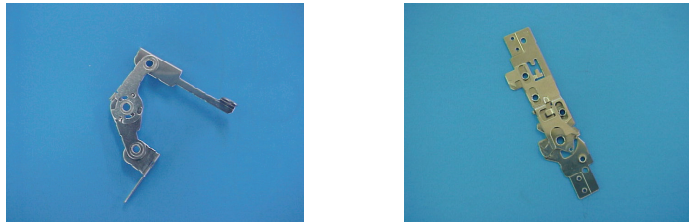
写真1.3.1.2 微細部品プレス加工用順送金型例
(株式会社メイトご提供)

写真1.3.1.2に代表的な順送プレス金型のイメージを示す。一つの金型の中に複数工程の金型部品が精密に配置されており、素材がサイドから送り装置によって供給され、順に成形加工が行われるようになっている。更に複数点数から構成されるユニット部品を製造する場合は、成形加工だけでなく、加工後の組立も重要な工程となる。組立工程は、一般的にプレス加工とは別になっているが、低コスト且つ高効率な生産システムを実現するために順送金型内で組立を実現する一体成形技術も開発されている。写真1.3.1.3に複数部品からなるユニット部品を一体成形によって型内加工・組立のための工程図及び製品例を示す。順送金型に複数材料が同時に供給され、複数工程での成形後、カシメ等により自動的に締結され、ユニット部品となる。

これらの微細部品を加工するための機械は、主に機械式プレス機械が使用されている。近年、精密プレス成形において、部品の形状精度の向上や金型への負担低減を図るために、下死点精度が高く、モーションが自由に制御できるサーボプレス機械を導入する例が多く見られる。



(a) 型内加工・組立工程スケルトン写真

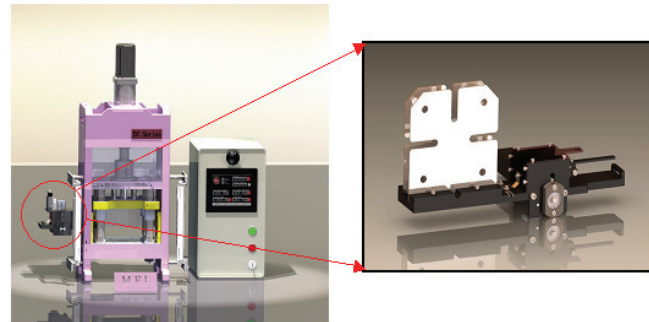


(b) 型内加工・組立微細ユニット部品例

写真1.3.1.3 一体成形概要 (a)工程スケルトン, (b)ユニット部品例
(株式会社セキコーポレーションご提供)

鍛造工程を含む順送プレス加工では、荷重が数十トンクラスで剛性の高いサーボプレスが使われる。抜き、曲げ、絞り等を主とするプレス加工用に、荷重数トンクラスの小型サーボプレス機械も開発されている。

写真1.3.1.4には微細加工用に開発された卓上型サーボプレスを示す。サーボモータ駆動を高精度制御できるだけでなく、フレーム構造の剛性が高く、高い成形精度を可能にしている。又、微細部品加工に使われる金属薄材を高精度供給するための小型サーボモータ駆動高精度薄材フィーダーも開発されている。卓上サーボプレス機械



(a) 卓上型サーボプレス機

(b) 精密薄材送り装置

写真1.3.1.4 卓上型サーボプレス機械
(合同会社微細加工研究所ご提供)

と高精度薄材フィーダーを組み合わせることにより、より微細な部品のプレス加工と組立が可能となる。

1.3.1.2 微細部品プレス成形における計測技術の現状

微細部品を製造する生産システムでは、高精度プレス機械、及び金型の構造や精度保障によって高い品質が実現されている。計測技術は製品の品質検査に主に用いられる。CCDカメラ等を用いてプレススピードとリンクさせ瞬間的に製品の映像を撮り、オンラインでの画像処理等による寸法測定や傷検査が行われている。但し、最後は人間の目視による最終検査の場合が多い。

一方、金属薄材の微細部品プレス成形高度化のための研究開発が行われている。寸法の微細化に伴う金属薄材の成形性や摩擦特性、金型の摩擦特性評価等に各種計測技術が用いられている。加工中のパンチ荷重や変位計測に小型ロードセル、精密変位計等が用いられている。又、加工中に高性能CCDカメラ等を用いてオンラインでパンチ表面の摩擦状態がモニタリングする

研究も行われている。又、高精度型内組立を実現するために、型内に小型センサを内蔵し、型内での素材送り位置精度をモニタリングするセンシング装置が開発されている。図1.3.1.1にそのセンシングシステムの概要及びセンサ要

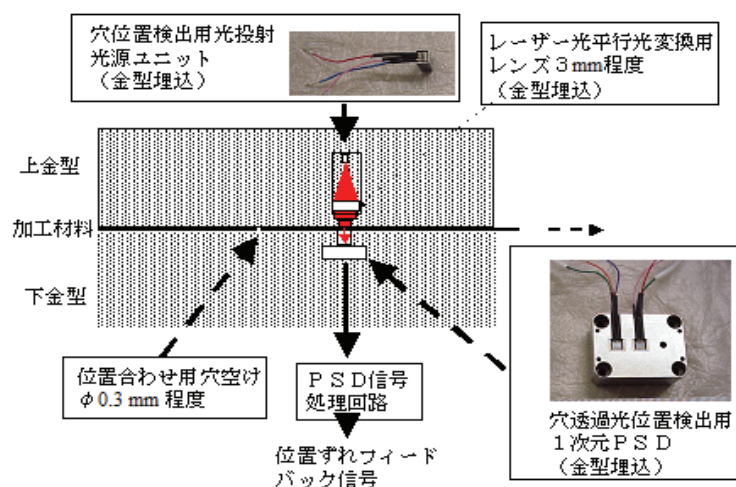


図 1.3.1.1 金型内材料位置センシングシステムの構成図とセンサ要素
(サポイン研究プロジェクト「難加工材のマイクロ鍛造による一体成形に関する研究開発報告書」より)

素を示す。素材の位置情報をフィードバックし、金属薄材送り装置による材料送り量を精密に制御することにより、高精度な型内組立を実現する研究が行われている。

1.3.1.3 微細部品プレス成形における計測技術の問題点

1.3.1.2項で述べたように微細部品のプレス加工生産システムにおいては、まだ限られた計測・検査システムしか導入されていないのが現状である。微細部品のプレス加工に対する精度要求が高まる中、今後以下のような問題点が予想される。

(1) プレス機械の熱変形の影響

微細部品のプレス成形の場合、プレス機の熱変形による影響は無視できない。加工時の摺動摩擦熱による熱変形を防ぐために、プレス機のガイドポスト用潤滑油温度を一定に制御する装置が導入され、ガイドポスト温度を一定に管理することにより、機械の熱変形を一定に保つことが一部行われている。又、リニアゲージを用いて、熱変形等に起因する下死点変動の自動補正機能を有する高精度サーボプレス機械も開発されているが、生産現場において、環境温度の変化や機械熱変形をモニタリングし、プロセス条件に対して補正を行うことがまだ殆どされていないのが現状である。今後、プレス機械の熱変形をオンラインでモニタリング及び自動補正機能が望まれる。

(2) 材料寸法、材質のばらつきの影響

微細部品のプレス成形の場合、素材の板厚や材質のばらつきが製品形状精度に大きく影響する。特に板厚の減少に伴い、素材の曲げ剛性が大きく低下し、残留応力や材質の不均一に起因する反り等平坦度の低下による影響が大きくなる。現状では、素材のロット間のばらつきに対しては、加工条件（下死点位置、加圧力等）の調整や金型の微修正等による対応がされているが、これらの調整や微修正は職人の経験と勘に頼っているのが殆どである。しかし、センサ情報を用いずに下死点位置、加圧力金型を調整する場合、機械の摺動誤差等に起因するばらつきが起こりえる。プレス機械クロスヘッドの変位や荷重のモニタリングや下死点位置を安定して調整できる計測・制御機能が不可欠であり、インプロセスでの素材平坦度矯正のための計測・制御システムが重要となってくる。更に順送金型等金型内多工程成形の場合、個々の工程での荷重等のモニタリングが精度維持のために必要になる。

(3) 表面傷の影響

微細部品のプレス成形において、表面傷による不良の発生が大きな割合を占める。加工中のバリやカスあがり等が金型表面に付着し、次に加工する部品の表面に打痕等を残すことが主な要因である。これらの現象は金型磨耗等が主な原因であるが、順送金型を用いる場合、金型内で多くの工程を経て部品が連続的に加工されるため、金型内部での観察が難しいだけでなく、出口では不良が発生した工程の断定ができない場合が多い。一部では、ダイとストリッパーとのギャップの変化を測定して、カス上がりによる不良を測定する試みもなされているが、対応策として十分とは言えない。バリやカスあがりを防ぐための型内センシングシステムの開発が今後期待される。

1.3.2 自動車パネル部品プレス成形

(1) 自動車パネル部品成形の種類及び要素機器

自動車プレス部品は、大きく二つのグループに分類される。まず、デザインに大きく関わりを持つ部品であるサイドパネルアウターを代表とするフェンダー、ドアスキン、トランクスキンといった外板部品群と、もう一つのグループは自動車の外側からは見えないボディそのものを構成する内板パネル群すなわちリアインナー、ドアパネル、トランクフレームといった大物部品とその他中物小物部品である。図1.3.2.1に自動車パネルの組み上げ図を示す。

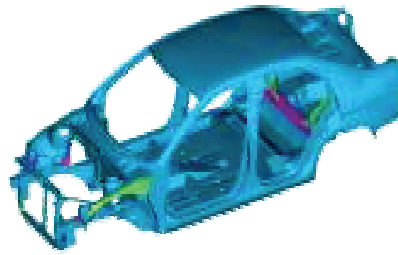


図 1.3.2.1 自動車パネル部品の構成

そしてその成形の種類には部品全体の形状を成形するドロウ（絞り）成形と後工程で不要な部分を切り取るトリム工程、主にフランジの曲げを行う曲げ成形、そして穴あけのピアス工程に分けられる。図1.3.2.2にサイドパネルアウターの成形工程を示す。



図1.3.2.2 サイドパネルアウターの成形工程

そして、それぞれの加工工程毎に異なる機能と構造を有した金型で成形される。図1.3.2.3及び1.3.2.4にサイドパネルアウターバンドの金型を示す。

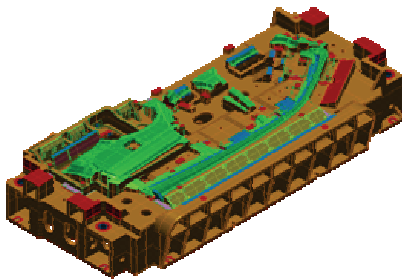


図1.3.2.3 サイドパネルアウターバンド下型

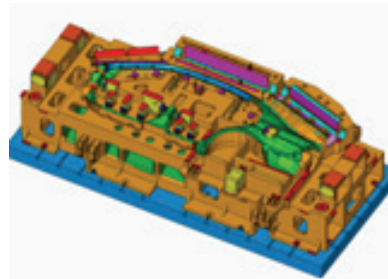


図1.3.2.4 サイドパネルアウターバンド上型

更に、量産プレスラインでは800から2,300トンクラスのプレスマシンで構成された一般的なタンデムラインと大型一体ラムとボルスターで構成される（800から5,000トン）トランスファーマシンによる生産が行われている。

(2) 自動車パネル部品成形の高度化と計測技術

自動車パネル部品は1.3.2 (1) 項で述べたようにその使用部位、成形工程、金型そして量

産マシンの違いの他、次に述べる開発試作段階から製造・量産段階におけるそれぞれのプロセスで必要とされる測定データの違いによる計測が行われている。



図1.3.2.5 自動車開発の流れ

又、その時点で製造中の金型からの測定データを常に次期モデル用の製品設計、金型設計、製造に反映するフィードバックが非常に大切な取り組みとなるため、様々な測定技術の開発も行われている（図1.3.2.5参照）。

1.3.2.1 自動車パネル部品プレス成形における計測技術の現状と問題点

(1) 金型製造段階

金型製造段階では、鋳造された金型本体の測定、加工後の成形面の精度の測定を行う。又、金型機能部位に不具合が無いか確認をする。

(1.1) 計測項目

計測項目を以下に示す。

① 金型鋳物形状測定

フルモールド法で鋳造された金型（仕上げ加工前）のデザイン面となる部位の寸法精度等を3D非接触測定器で測定する。又、鋳造不良等の鋳物品質もここでチェックされる。写真1.3.2.1に金型用鋳造品の計測状況を示す。



写真1.3.2.1 金型(仕上げ加工前)の形状計測

② 金型デザイン面精度

金型の仕上げ加工後に、デザイン面（成形面）が設計通りの寸法、面形状になっているか3D非接触測定器で測定する。写真1.3.2.2に金型デザイン面の計測状況を示す。



写真1.3.2.2 金型デザイン面の形状計測

(2) トライアウト段階

トライアウト段階ではプレス機に金型を入れてその動きを確認し、又、完成パネルを作ってパネルの精度を確認する。不具合が発見されると、その後金型に微調整を加えながらデザイン通りの成形ができるまで行う。



図 1.3.2.6 金型デザイン面精度の形状計測

(2.1) 金型デザイン面精度形状計測

金型製造段階と同様に金型デザイン面精度と共に実際にプレス成形し成形品のデザイン面精度を測定し両方の測定値から金型の微調整を行う (図1.3.2.6)。

(2.2) トライアウトパネル (成形品) デザイン面精度の形状計測

トライアウトパネル (成形品) の寸法精度を 3D 非接触測定器で測定する (図1.3.2.7)。ここでは検査 J I G を用いて測定する場合がある (写真1.3.2.3)。

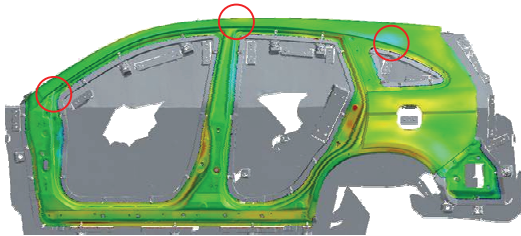


図 1.3.2.7 トライアウトパネル (成形品) デザイン面精度の形状計測結果

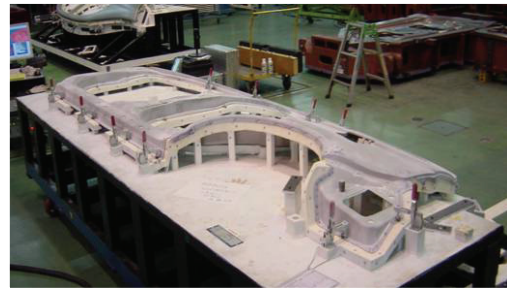


写真 1.3.2.3 トライアウトパネル(成形品)用の検査 JIG

(2.3) デザイン見え方

デザインの見え方は、ゼブラ模様のボードを部品や金型形状に写して評価する (写真 1.3.2.4)。

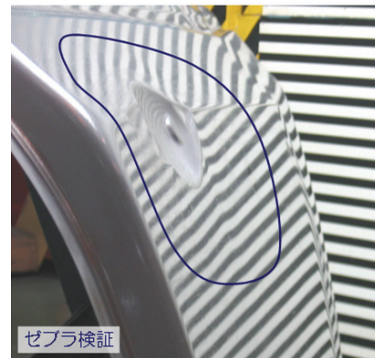


写真 1.3.2.4 ゼブラ模様による測定

(2.4) トライアウト段階の問題点

a. 金型の問題点

現在 3D 非接触測定器を駆使して金型 (デザイン面) 表面の計測を行っているが、その段取りから測定完了までの時間が長く掛かること、更に一度に測定できる範囲に限界があること (図1.3.2.8の四角で囲われた範囲が 1 回に計れる範囲)、基準がその時その時で決まっていなかったことから測定したデータをダイレクトに品質熟成に使用できないといった課題がある。



図 1.3.2.8 測定範囲の限界

b. トライアウトパネルの問題点

上記の金型とほぼ同じ内容であるが、更に厄介なのは塑性変形したパネルを検査 J I G に固定して測定するのか、開放して測定するのか基準がまちまちなのでスプリングバックの影響が反映されておらず、測定後のデータをダイレクトに品質熟成や C A E のデータに使用できない。

c. プレスマシンの問題点

マシン本体の金型取り付け部のたわみや金型本体（上下型）の取り付け部位や金型構成上の重要箇所及び成形を行う各部のたわみ状況をひずみゲージによって計測しているが、静止状態での値と稼動時、成形途中の値の差のバラつきや違いの解明まで至っておらず金型設計や C A E の精度アップにまでは利用できておらず、リアルタイム制御という観点で研究段階のレベルを脱していないのが現状である。

(3) 量産段階

量産段階では、量産パネル（成形品）の寸法精度を、検査 J I G を用いて測定する。板厚測定(写真1.3.2.5)及び成形限界曲線（FLD:Forming Limit Diagram、図1.3.2.9）により、プレス成形の不具合因子を評価する。

又、ゼブラ模様による測定で成形面形状の確認をする。

(3.1) 量産パネル段階の問題点



写真1.3.2.5 量産パネルの板厚測定

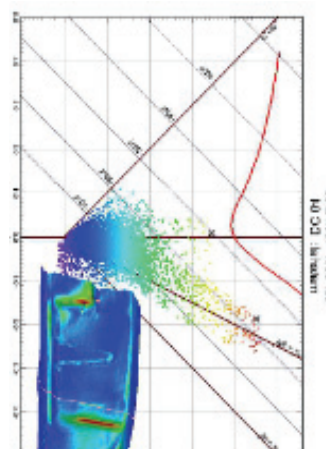


図1.3.2.9 FLD測定結果

通常、寸法精度については、量産ロット前に検査 J I G にセットし抜き取り検査を実施する。又、デザイン面の品質については、インラインで非接触測定器を設置しタイムリーに測定する試みはされているものの量産スピードとの追従性が課題である。

内板部品のキレツ、くびれと言ったプレス成形の基本的な不具合についてもインラインでの測定、フィードバックは実現できていない。

量産前後のデータ測定によって品質のバラつきを管理し大きく基準値を超える場合はプレス成形条件の調整、材料の変更更には金型改修を行っているのが現状である。

(4) フィードバック段階

板厚、流入量等の計測値をCAEパラメーターとして次期成形モデルへ活用する。

(4.1) フィードバックでの問題点

現時点で開発・製造中の金型や試作パネルから次機種への製品形状金型設計・製造に対するフィードバックは今後の早期品質熟成を含む新機種開発リードタイム短縮に極めて重要な取り組みになるが、計測技術の観点からみるとまだまだ起こっている成形問題や課題を解決するレベルに留まっているとしか言えない。

1.3.2.2 トレーサビリティ構築、異常情報検知の活用方法

プレスラインでの生産システムで最上流である材料特性値や生産する部品毎の成形特性値と成形条件をタイムリーに自動測定し、それぞれ限界値をオーバーする状態が発生した際にプレス条件（成形加重、成形スピード、等）を変化させ最適な生産条件下で生産が続けられるようなデータフィードバック機能、又、そういった最適条件下によっても見逃されたエラー、すなわち成形上の不具合（キレツ、くびれ、外板不良）をラインエンドで判定できるモニタリングシステムが望まれるが、できていないのが現状である。

1.3.2.3 計測データの活用現状と問題点

(1) 金型製造段階

この段階においては、まず鋳物素材形状を3D非接触測定器により計測する。そのデータは、形状荒加工における加工効率アップ（図1.3.2.10のエアークット削減や工具破損防止）のため、加工マシンの制御データとして入力・利用される。

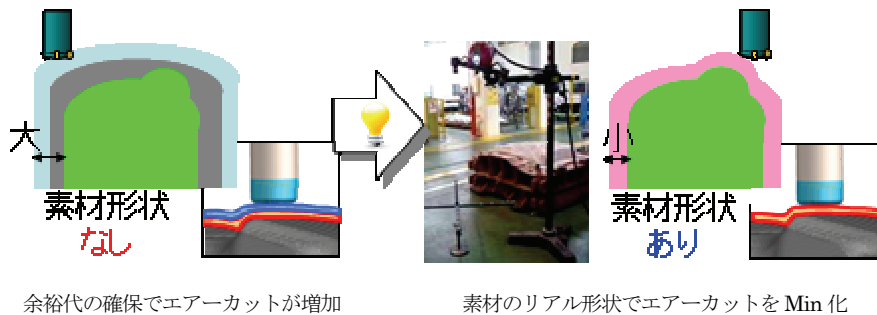


図1.3.2.10 素材形状の3D非接触測計測によるエアークット削減

その後、最終加工後の精度を確認するために、ドロー（形状成形）型の

下型パンチ形状：成形金型加工完了時点でのデザイン面（Class-A面）

上型ダイ形状：材料板厚差分形状そして後工程（トリム、ベンド）金型

下型：製品形状面

を3次元測定器による指定測定点の精度確認や3D非接触測定器による計測が行われている。

データの活用法としては、削り残し、工具倒れ、歪み等を定量表現し、金型加工データへの高速・高精度のための見込み補正量へ反映することである。

(2) トライアウト段階

金型をプレスマシン本体に設置しトライアウトを実施する際に金型を設置するマシン本体のラムという部位や金型本体の（上下型）取り付け部位と成形部位それぞれのたわみを各種センサで計測している（写真1.3.2.6）。



写真 1.3.2.6 金型のたわみ計測

更に、トライアウトにより得られたトライアウトパネル（成形品）のデザイン面精度を3D非接触測定器によって、又、寸法精度を3D非接触測定器や検査用の専用治具によって計測し、更に定量的な判断のみならず、デザイン見え方

についてはゼブラ模様による評価も行っている。

更に厄介なのは塑性変形した（スプリングバック）パネルを検査JIGに固定して測定するのか、開放して測定するのか基準がまちまちなので、測定後のデータをダイレクトに品質熟成やCAEのデータに使用できない。

(3) 量産段階

寸法精度については、量産ロット前に検査JIGにセットし抜き取り検査を実施するのが通常である。又、デザイン面の品質についてはインラインで非接触測定器を設置し、タイムリーに測定する試みはされているものの量産スピードとの追従性が課題である。

内板部品のキレツ、くびれと言ったプレス成形の基本的な不具合についてもインラインでの測定、フィードバックは実現できていない。

1.3.2.4 熟練技術者に依存しているノウハウの活用方法

従来は熟練技術者による官能評価によって判断されていた自動車外板部品のデザイン面精度については依然として定量的データだけでの評価が難しい非常に繊細な領域である。

今後、圧倒的競争力を持つためには熟練技術者の持っているノウハウをデジタル化し定量的な閾値に置き換えると共に官能評価との関連を明確化し最終的にはシミュレーション技術の向上につなげることが必要と考える。

1.3.3 プレス機械

塑性加工の主要な要素技術に被加工材、金型、成形装置、潤滑等がある。その中のプレス機械は本体やダイクッション、搬送装置のサーボ化にともないデジタルエンジニアリング化が進んでいる。

今後の塑性加工にはトレードオフの関係になりがちな生産性と成形性、環境負荷の低減等の全体最適化を目指すインテリジェントな成形システムが必要になり、プレス機械、及び計測・制御技術はその中核技術としての重要性が益々高まっている。表1.3.3.1はこれらの総合的評価を生産性能とし、関連する技術要素と計測・制御技術をまとめる。

本項ではプレス機械を中心に成形性に関連する装置の基本的な解説とこれに関連する計測・制御技術に関する問題点、高度化の現状及びプレス成形システムの課題を述べる。

表1.3.3.1 生産性能と関連する技術要素

生産性能	関連技術
成形性	プレス機械と成形(金型)支援機能(ダイクッション等)の作動精度、作動モーション制御、成形速度制御、圧力制御、位置制御
生産性	生産速度(素材供給・成形・搬送・パレタイジング)、稼働率、生産リードタイム、保守性
環境負荷	省エネルギー(消費電力、消費空気量)、省資源(コンパクト化、潤滑量)、不良率ゼロ、成形工程短縮、金型寿命
生産管理	製品別(素材・金型)の成形条件(成形荷重、成形速度、圧力・作動モーション・タイミング)、生産性能情報(データ集積、解析、表示)

1.3.3.1 プレス機械の種類及び成形性に関連する付属装置

① プレス機械の種類とその計測・制御技術と問題点

プレス機械は、スライドの精度、速度、モーション等の運動特性が塑性加工の成形性に大きく影響を与えるため、成形法に応じて選択できるように様々な種類がある。プレスは荷重の発生機構により、主に水や油を使用する液圧プレスとモータの回転を上下運動に変換する機械的な駆動機構を持つ機械プレスの2種類に大別できる。液圧プレスは比較的長いストローク、加圧速度や加圧力の調整が容易で、加工速度を一定あるいは保持することも可能で、更に過負荷を生じない等の特長があり、いろいろな成形に対応が可能であり汎用性があるが生産性に問題がある。機械プレスはメカニカルな駆動機構のためストローク長さや運動特性は使用する駆動機構に限定されるが、生産性は高く保守も容易で大量生産を必要とする電気・電子機器や自動車部品のプレス加工に圧倒的に使用されている。

図 1.3.3.1 に機械プレスの代表的な駆動機構を示す。それぞれの駆動機構はトルク能力やスライド速度等に固有の特性があり、成形法に適したプレスが選定される。

駆動機構はモータの等速運動の回転速度のみが制御され、プレスのトルク能力やスライドモーション特性はそれぞれのメカニズムで決まる。

成形荷重はフレームに取り付けた歪

みゲージで計測するが、荷重の制御機能はなく、オーバーロード時のみプレスを停止させる。

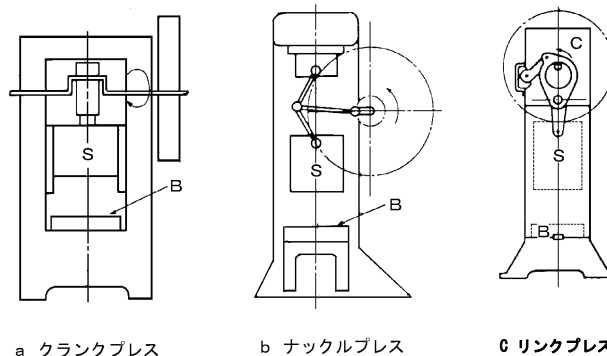


図 1.3.3.1 代表的な機械プレスの駆動機構 ^{1.3.1)}

② 成形性に関連する付属装置（ダイクッション等の付加作動装置）とその計測制御技術

プレス加工は主として成形力を上下運動するスライドが成形力を担当し、更に製品精度や成形性を向上させるために付加力を活用する。代表的な付加作動装置にダイクッションがある。

1) ダイクッション

図1.3.3.2は絞りのしわ押えに使用されるエア式ダイクッション装置を示し、機能は圧縮エアによる圧力制御が基本となる。問題点としては設定可能なエア圧力が低いためクッション能力に限界があり、金型と素材の接触時にサージ圧力が発生し、クッションストロークの進行と共に増圧し、成形途中での迅速な圧力の設定変更や作動制御が難しい。

図1.3.3.3は2段シリンダの油圧式ダイクッションを示す。油圧式ダイクッションはロッキング、プルバック等の位置・タイミング調整機能が可能になり、小から大能力の装置にも使用される。エア式と比較すると多機能化が可能になるが、構造が複雑になりがちで作動速度が増すと作動油の冷却装置も必要になる。

2) 複動成形における付加力作動装置

ダイクッションはスライドストロークにより受動的に作動する装置だが、閉塞鍛造や板鍛造の複動成形には高い圧力能力が必要になり、油圧プレスと同様な速度、モーシオン、位置を制御する能動的な作動装置、更に高い作動精度と制御機能が必要になる。

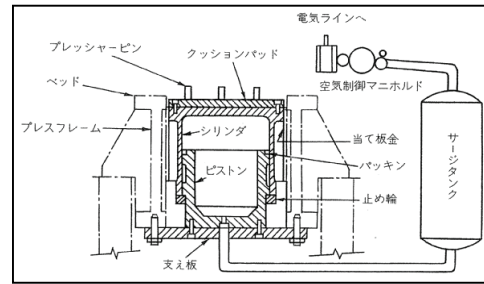


図 1.3.3.2 エア式ダイクッション 1.3.1)

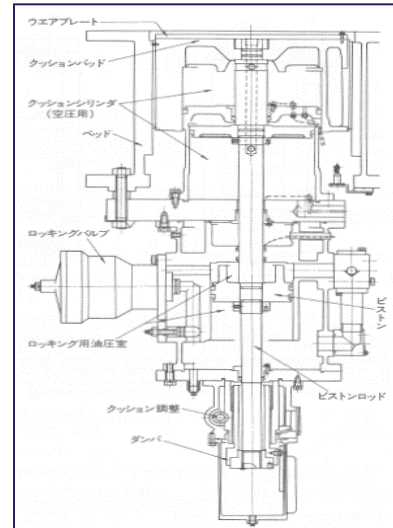


図 1.3.3.3 油圧式ダイクッション 1.3.2)

1.3.3.2 プレス機械の高度化と計測技術

プレス加工は電気・電子機器や自動車産業の高強度・軽量化の難加工材や複雑形状のネットシェイプ成形やグローバル化への対応、あるいは作業者の技能に頼らない安定生産やリードタイムの短縮のためにも、プレス機械のデジタル化や成形システム化が必須になっており、プレス機械、ダイクッション等の要素機器、更に搬送装置はサーボ技術により速度・モーシオン・位置を任意に制御する高度デジタル化が進んでいる。

① プレス機械の駆動方式の高度化

最近のプレス機械は生産性と成形性を最適化するため、油圧プレスと機械プレスの特性を併せ持ち、高度な計測技術によるデジタル制御が可能なサーボプレスの要求が高まっている。油圧駆動や様々なメカニカル駆動機構との組合せによるサーボプレスが開発されているが、ここでは代表的な4タイプの駆動方式を紹介する。

1) 電動・油圧サーボプレス

図1.3.3.4は、電動・油圧サーボプレスのDDV (Direct Drive Volume Control) と呼ばれる油圧制御方式による駆動部の模式図を示す。ACサーボモータと両回転式油圧ポンプを直結して高い精度で流量と圧力を制御して成形荷重、スライドの速度、モーシオン、

位置を制御する。その特徴はスライド速度が向上すると共に、制御バルブや油タンクが大幅に減少してコンパクト構造による省エネルギー・省スペース・冷却水不要・省保守・低騒音等がある。

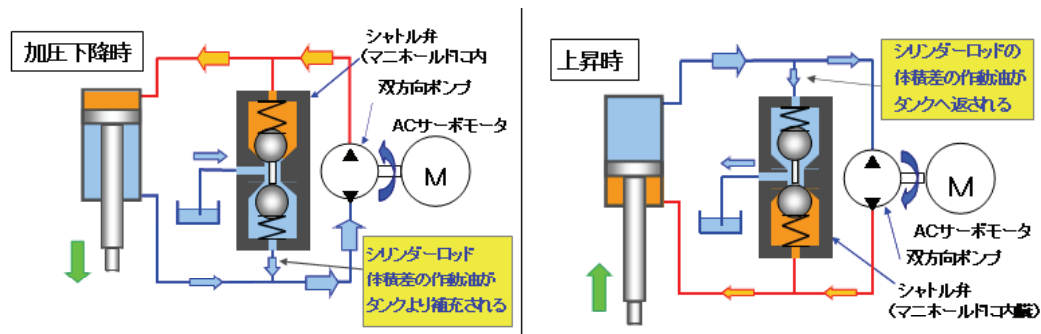


図 1.3.3.4 電動・油圧サーボプレスの DDV 制御方式 1.3.3)

2) クランクレス駆動式サーボプレス

図1.3.3.5は、10,000kN以上の大型サーボプレスの構造を示し、ACサーボモータと減速機構を直結してクランクレス駆動機構を使用する直動式4ポイントサーボプレスである。

多くの機械プレスは駆動部の回転運動からコンロッドを介してスライドの直線運動に変換するため、下死点に近づくにつれてコンロッドの傾きが少なくなり、成形荷重として作用するコンロッドの垂直方向の分力が大きくなり成形荷重も増大できる。機械式サーボプレスは図1.3.3.1のクランク、ナックル、リンク等のメカニカル駆動機構との組合せで使用される場合が多い。その特徴はACサーボモータによりスライドの速度、モーション、位置の制御を行い、プレス機械の成形時の精度はプレス機械の剛性と作動精度で決まる。スライドの位置制御は主にエンコーダを使用するが、成形時のリアルタイム制御時はプレス本体に取り付けられたリニアスケールの位置データを活用する。大型プレスはトルク能力を上げるためACサーボモータを複数台配備して、同期運転を行う。成形荷重はプレス本体の歪や、油圧式オーバーロードプロテクタの油圧により計測する。

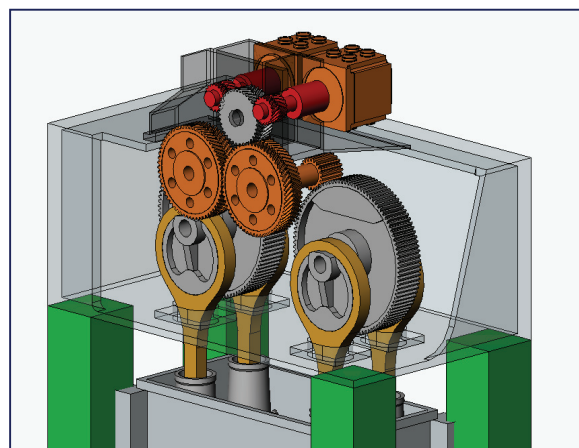


図 1.3.3.5 クランクレス駆動機構式直動式 AC サーボモータプレス 1.3.4)

3) 2軸ナックル式サーボプレス

図1.3.3.6は左右2組のサーボモータとナックル駆動機構を組合せた2軸独立制御方式のサーボプレスを示す。2個のサーボモータはスライドの速度、モーション、位置を任意に同期制御すると共に、高精度化や偏心荷重に対応するためそれぞれを独立制御してスライドの平行度も補正する。

4) 4軸スクリーュー駆動式サーボプレス

図1.3.3.7は4軸のスクリーューを4個のACサーボモータでそれぞれ独立制御してスライドを駆動する直動式サーボスクリーュープレスを示す。モータトルクの倍力機能はないが、シンプルな駆動機構で、成形荷重、スライドの速度、モーション、位置、

図1.3.3.8に示すようなスライドの平行度を制御して、下死点精度や、許容偏心荷重を高める。スライドの荷重や速度はサーボモータのトルクと回転速度とリニアな関係になり精緻な制御が可能になる。

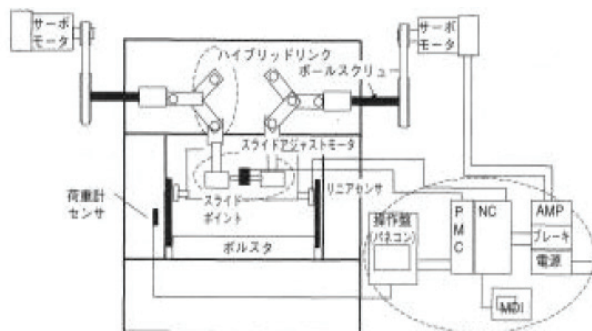


図 1.3.3.6 2軸独立制御ナックル式サーボプレス 1.3.5)

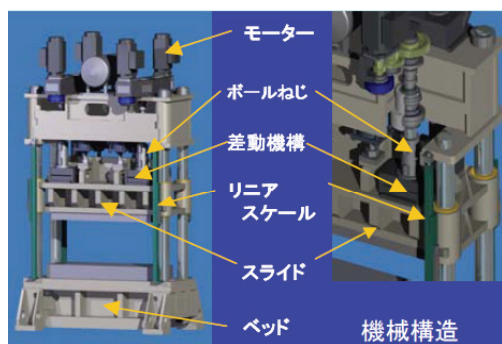


図 1.3.3.7 4軸の直動式スクリーューサーボプレス 1.3.6)

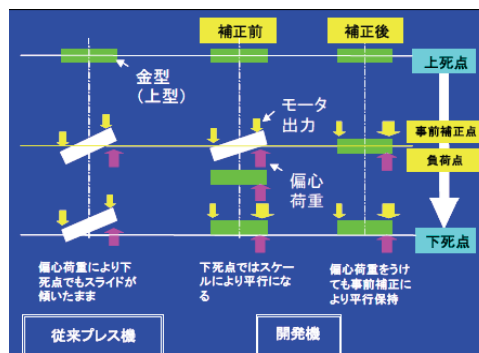


図 1.3.3.8 スライドの平行度制御 1.3.6)

高度化に対応するサーボプレスも駆動方式により表1.3.3.2に示すようにそれぞれの特徴があり、成形製品の精度・材質、成形荷重、生産量、コスト等を考慮して選定される。

表1.3.3.2 代表的な4種類のサーボプレスの特徴

サーボプレスの駆動方式	スライドの速度、モーション位置制御	スライドの平行度制御	成形荷重の制御	生産速度	大型機への対応	プレスのトルク能力の制限
電動-油圧 例) 図1.3.3.4	可能	可能	可能	良	サーボモータ能力	なし
機械式	1軸制御 例) 図1.3.3.5	不可 (機械精度による)	位置制御で代用	優	サーボモータ能力 + 倍力機構	有り 下死点上の高い位置での許容荷重低下
	多軸制御 例) 図1.3.3.6	可能	位置制御で代用	良		
スクリーュー式多軸独立制御 例) 図1.3.3.7	可能	可能	可能	良	サーボモータ能力	なし

② ダイクション等の付加作動装置の高度化

デジタル化による高精度・高付加価値形状のプレス成形は、プレス本体と共に成形性向上のために金型の作動を補完するダイクション等の要素機器のサーボ化が不可欠になる。

ダイクッションはサーボ化することによりサージ圧の少ない圧力・モーション・位置の制御が可能な絞り用の装置と共に、複動成形用の能動的な作動装置に機能アップして、板金成形や鍛造の工法開発や精緻なデータ解析が可能になる。

図1.3.3.9は、ACサーボモータを使用してスクリーにより作動するロックアウト装置の構造を示す。圧力センサを内蔵してロックアウトを位置で制御したり、背圧を付加するときには圧力制御ができ、サーボダイクッションとしても使用できる。

図1.3.3.10は油圧を媒体としてサーボモータにより油圧ポンプ・モータを制御する大型の電動・油圧式サーボダイクッションの模式図を示す。2個のシリンダは偏心荷重に対しても完全に同期して作動する。鍛造プレスにおいては閉塞鍛造やロックアウト装置としても機能し、複動成形の高機能化にも効果がある。

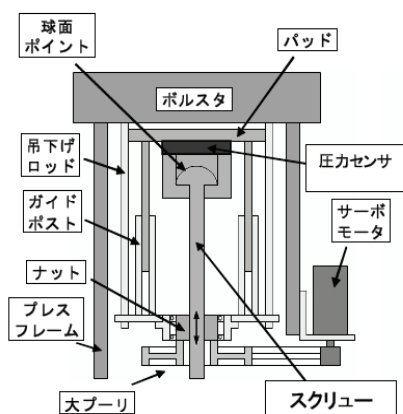


図 1.3.3.9 スクリュー式サーボクッション 1.3.7)

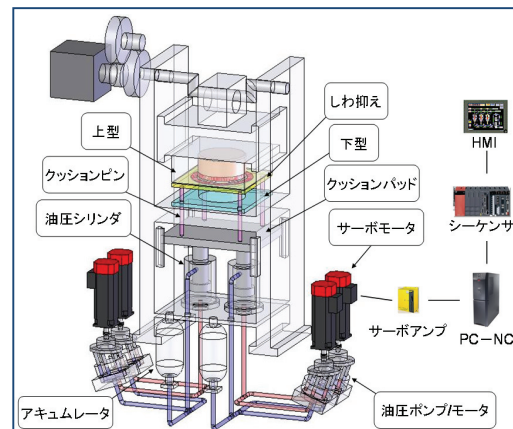


図 1.3.3.10 電動・油圧式サーボダイクッション 1.3.4)

③ 複動成形プレスの高度化

複動成形はネットシェイプ成形の有力な手段であり、積極的な塑性流動の制御を行う。単動成形では難しい形状の成形が可能になり、製品精度の向上、工程短縮、成形応力の低減等の効果がある。複動成形は、プレスの汎用性を重視する複動ダイセットによる成形と、多品種で生産数の多い生産には金型交換が容易で稼働率が高くなる複動プレスによる成形の二つのタイプがあり、ここでは複動成形プレスと成形事例を紹介する。

1) 油圧-機械式3工程トランスファ加工用複動成形プレス

自動車のCVTユニットのピストンは絞りと増肉成形を主体に14工程を必要とするが、複動成形を活用することにより3工程に短縮した事例を紹介する。プレスは図1.3.3.11に示すように油圧シリンダによりナックル機構を介して第1軸のスライド(主シリンダ)を駆動する3工程のトランスファプレスである。各ステージにはそれぞれスライドには第2軸とベッドには第5軸の油圧副シリンダを装備する。

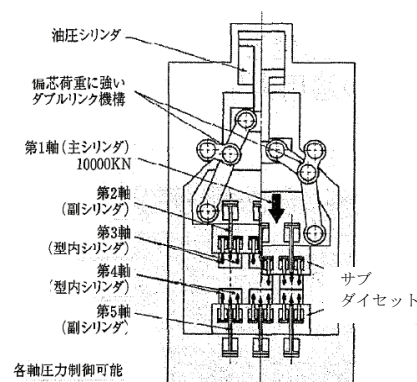


図 1.3.3.11 油圧-機械式3工程複動プレス 1.3.8)

更に上・下のサブダイセットにも第3軸、第4軸の油圧シリンダがあり、各ステージで5軸の複動成形が可能になる。

図1.3.3.12は成形工程を示し、第1工程では第2軸により打抜き後、第1軸と第5軸で素材を拘束し絞り成形をする。第2工程では第2、4、5軸でカップを拘束しカップ端部を第1軸で押し込み、インナーダイス内の材料が流入後加工力を受け第5軸が下降しながらミドルパンチで段絞りをを行うと同時にカップ端部の増肉を形成する。第3工程は第

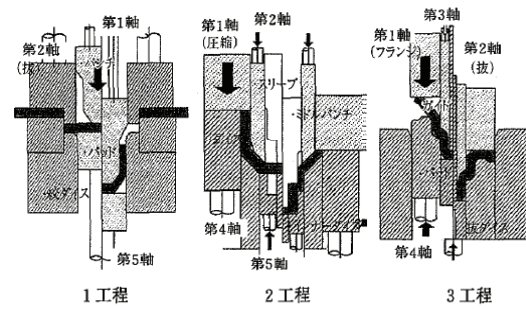


図 1.3.3.12 成形工程 1.3.8)

3、4、5軸で第2工程品を拘束し第1軸でフランジを成形する。同拘束状態でダイス内に押し込み段差形状の精度を出し、第2軸で穴を抜く。以上、3工程のトランスファ連続成形が完結し、従来成形法に比べ、画期的に工程数を削減している。

2) 1行程における逐次複動成形

図1.3.3.13はサーボプレスのスライドやベッドに装着した複動装置を使用して、1個の金型で上死点から下死点に至る間に複数工程の加工を行う逐次成形による製品の工程図を示す。工程としては①第1絞り、②バーリング下穴加工、③第2絞り、バーリング、④ピアス、ピン成形、絞り端面の増肉加工、リストライクによる平面成形と4段の成形ステップで8種類の成形を行っている。金型構造を図1.3.3.14に示す。加工工程を図1.3.3.15のモーション線図で説明する。1段目の成形は、上死点からインナー、アウター両スライドが同時に下降して第1絞りをを行う。2段目は絞り成形パンチがつながっているインナーสライドが停止し、バーリングパンチがつながっているアウタースライドのみ下降し穴あけを行う。3段目はインナー、アウター同時に下降し、第2絞りとバーリングを同時に行う。4段目はインナーが停止し、アウターのみでピアス、ピン出し、端面増肉を行う。ここで一連の成形が終了するが、最後にアウターが停止し、インナーのみ上下動作を行い、底部の平面成形（リストライク）を最大能力で行い

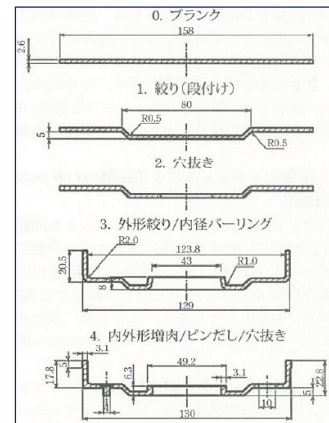


図 1.3.3.13 1行程中の成形工程 1.3.6)

成形が終了する。4工程、4個の金型による成形から、1工程、1個の複動成形に短縮される。

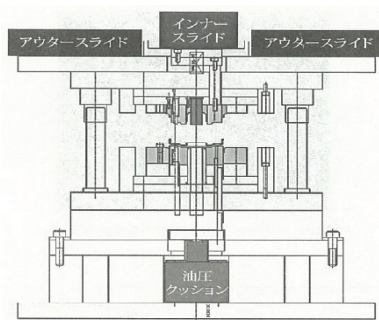


図 1.3.3.14 金型構造 1.3.6)

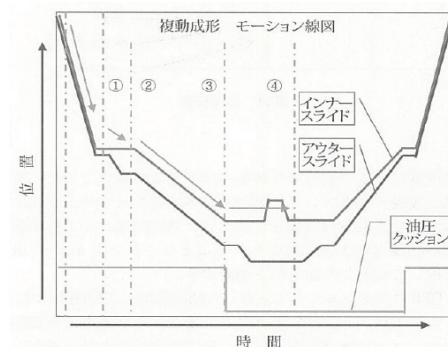


図 1.3.3.15 モーション線図金型構造 1.3.6)

3) 高精度平面成形

プレス加工において、精度を追求する上で必ず問題となるのが機械剛性である。図1.3.3.16の左に示すように一般のシングルスライドサーボプレスで加工を行った場合、スライド及びベッドが成形荷重により必ず変形する。この現象により、面積の広い加工品においては、平面度が確保できなかつたり、形状の中心部が目的の形状に成形できない等の問題が発生する。複動サーボプレスは、このような問題に対し有効な手段を取ること

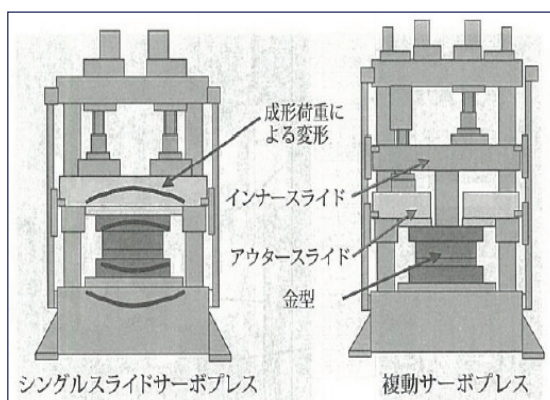


図 1.3.3.16 プレス機械の挙動

ことができる。図1.3.3.16の右図のように複動機構を採用することにより、独立して駆動するインナースライドを使用し、プレス本体及び金型の変形を補正することができる。冷間鍛造や板鍛造の加工は、過酷な集中荷重が作用して、大きな変形が発生して高精度加工を困難にして金型寿命も短くなるため、このたわみ補正制御は効果的である。

1.3.3.3 プレス成形システムの課題

① 最適化生産（生産性と成形性・精度の向上の両立等）への課題

プレス機械、金型、搬送装置等を含む成形システムは、生産性と成形性、あるいは金型寿命の関係はトレードオフになりがちである。これらの生産特性と更に環境負荷低減を含めて、全体最適化を考慮した生産条件の設定が必要になる。

1) 高度化サーボプレスの課題

表1.3.3.3はサーボプレスの各駆動方式と全般の課題、及び関連する計測・制御技術を示す。

表1.3.3.3 サーボプレスの駆動方式と課題

駆動方式	課 題		
	サーボプレスの機能	計測・制御技術	
電 動-油 圧 例) 図1.3.3.4	油圧特性と 位置制御	<ul style="list-style-type: none"> ・コストパフォーマンス (成形製品価値とプレス機能・精度) ・サーボ制御応答時間と生産性 ・成形過程時のマイクロ制御精度 (疑似ステイクスリップ現象) ・制御方式(プリセット、リアルタイム、フィードバック制御)の適切な選択 	
機 械 式	1軸制御 例) 図 1.3.3.5		<ul style="list-style-type: none"> ・プレス機械精度 ・成形荷重制御
	多軸制御 例) 図 1.3.3.6		平行度制御等の 同調応答時間
スクリュー式多 軸独立制御 例) 図1.3.3.7	<ul style="list-style-type: none"> ・平行度制御等の 同調応答時間 ・駆動部の耐久性 ・大型化への対応 	<ul style="list-style-type: none"> ・サーボモータの容量アップ ・サーボモータの位置、速度、トルク制御機能アップ ・複数台のサーボモータの同期制御機能のアップ ・エンコーダ、リニアスケールの分解能アップ 	

2) 成形システムの高度化への課題

代表的なプレス成形ラインを表1.3.3.4に示す。

表1.3.3.4 代表的なプレス成形ライン

成形ライン	材料供給装置	搬送装置	特 徴
タンデムプレスライン	ブランク集積・供給装置	・シャトルフィーダ ・3次元ロボット ・多関節ロボット	単工程金型と複数台プレスを使用して、3次元中間搬送装置による多工程成形
プログレッシブプレス	コイルフィーダ	・ロールフィード ・グリッパフィーダ	1次元送りによる1台のプレスの多工程成形
トランスファプレス	ブランク集積・供給装置	・2、3次元トランスファフィーダ ・カップトランスファ ・3次元ロボット	2、3次元送りによる1台のプレスの多工程成形

サーボプレスを使用したプレス成形ラインは、材料搬送が1次元送りで金型との干渉チェックが容易で成形条件が設定しやすいプログレッシブプレスから発展した。

サーボトランスファプレスは複数の金型を使用して3次元のサーボ送り装置を使用すると生産速度、スライドモーション、搬送条件の自由度が増すため、各成形条件の設定が複雑化する。複数プレスを使用するタンデムサーボプレスラインは、更にスライドモーションとサーボダイクッションの作動が各プレスで異なり、成形条件設定は益々複雑化する。このため、サーボ化成形システムの最適な生産条件を設定するには、動作シミュレーション機能を持つ生産支援システムが有効になる。主な機能は下記の3項目になる。

- 1) 金型とフィンガの干渉チェック
- 2) トランスファモーションの最適化
- 3) スライド&トランスファモーション線図の作成

プレス機械とトランスファフィーダ、そして金型を3次元のバーチャル空間上で動かすことにより、事前に各モーションの確認や金型とフィンガの干渉チェックが短時間で可能になる。更に成形シミュレーションを活用するサーボプレスやダイクッションの最適化設定も必要になる。これらは一部の自動車メーカーでは実施されているが、価格、汎用ソフトウェアやインターフェースの問題からあまり普及していない。

② 環境負荷低減への課題

環境にやさしいエコプレスの方向性はプレス機械の製作時や稼動時の省エネルギーや省資源化等の環境負荷低減(表1.3.3.5のA、B項)と、ネットシェイプ成形による加工部品の工程削減や高強度・軽量化材料のプレス加工部品が用いられる自動車等の製品稼動時の評価を含めた環境負荷低減(表1.3.3.5のD、E項)の二つの道がある。

前者の評価法の一つが(社)日本鍛圧工業会のエコマシン認証制度⁹⁾であり、各企業の2000年度以降の実績機との相対比較から環境負荷の低減を評価している。将来は基準金型等を使用して消費電力等の目標値をクリアするトップランナー方式の認証基準が望まれる。

後者は設備と加工部品を含めたより広い範囲の環境負荷の評価になり、デジタル化によるプレス機械の高精度・高機能性も評価に反映される。更に、被加工材にリサイクル材を

使用するシステムは効果が高い。ネットシェイプ率や金型寿命、プレス加工部品が用いられる製品の稼働時の環境負荷を評価するには、LCA (Life Cycle Assessment) が不可欠になり、多くの材料から製品までの環境負荷のデータベースを必要とし実現へのハードルは高い。

表1.3.3.5 鍛圧機械の環境要素

	鍛 圧 機 械	環 境 要 素	評 価 軸 (絶 対 値、相 対 値)
A	鍛圧機械の環境性能	<ul style="list-style-type: none"> 省エネ(高効率)稼働や待機時の電力 省資源(コンパクト化) 耐久性・保守 	Output/Input = 作業エネルギー/電力 消費電力、CO ₂ 面積・体積(重量)、部品点数稼働率
B	環境保全(無害化、廃棄物)人に優しい設備	<ul style="list-style-type: none"> 油(潤滑、加工)、圧縮空気 安全性 有害物質 振動・騒音 	種類、消費量、廃棄形態ユニバーサルデザイングリーン購入法、RoHS対応
C	製造時のエコ、無害化、廃棄物	<ul style="list-style-type: none"> エミッションフリー、再資源、再利用 CO₂排出量 化学物質の大気排出 	3R (Reduce, Reuse, Recycle)
D	エコフォーミングに貢献する鍛圧機械	<ul style="list-style-type: none"> ネットシェイプ成形(後加工なし) 複合・複動成形(工程数削減、金型寿命向上等) 	精度、剛性、機能LCA 評価
E	エコ部品の成形に貢献する鍛圧機械	<ul style="list-style-type: none"> 難加工材(高強度、軽量、高機能、等) 	LCA 評価

引用文献

1. 3. 1) アイダエンジニアリング編：“アイダプレスハンドブック第4版”(2007), 170, 206
1. 3. 2) アイダプレス研究会：“知りたいプレス機械 改訂版”(1999), 96, ジャパンマシニスト社
1. 3. 3) 安友隆廣：“最近の冷間鍛造プレス機”, Press Forming Journal, (2006. 2), 30-34
1. 3. 4) 松野修一：“進化する高速サーボプレスタンデムライン”, 塑性と加工, 52-600, (2011), 168-170
1. 3. 5) 安藤弘行：“サーボ駆動プレスの動向と鍛造加工への応用”プレス技術, 40-6, (2002), 22-25
1. 3. 6) 村田 力：“複動サーボプレスによる高付加価値成形”塑性と加工, 49-565, (2008), 9-13
1. 3. 7) 安藤弘行：“サーボプレスによる鍛造技術革新”第33回鍛造実務講座テキスト, (2006), 73-79
1. 3. 8) 石原貞男、峰功一、鈴村敬：“厚板プレス加工に用いる複動成形技術の開発”塑性と加工, 44-507, (2003), 91-95
1. 3. 9) 日本鍛圧機械工業会：“MFエコマシン認証制度”, ダウンロードサイト
<http://www.j-fma.or.jp/>

第2章 素形材に係わる計測技術のあり方

2.1 鋳造における計測技術の将来像

2.1.1 鋳鉄における計測技術の将来像

本章では「素形材技術戦略2008」の鋳造技術分野ロードマップ中の事項及び今回の調査委員会での議論内容等を基に報告する。

鋳造技術分野ロードマップの中には現状の課題として「製品の信頼性向上、寸法精度向上、金属スクラップの汚染、環境、CO₂排出低減、省エネ化、製品の提案力の向上」という認識のもと、「鋳造技術の将来像」として大きく四つ挙げられている。

- ① 高機能・高品質鋳造品を実現する溶解技術
- ② 高歩留まり、寸法精度向上を実現する造型技術
- ③ 不良を出さないための高度生産管理システムを実現する技術
- ④ CO₂排出低減、省エネを実現するための熱回収技術

2.1.1.1 インサイチュウ (in site) での計測機能を有する理想ライン

これを実現するためのロードマップの中で下記の技術が分類されており、その中で計測に係わる事項についてテーマ名を以下に列挙する。

I. 高品質、高付加価値の素形材製品を製造する技術（計測に関係するテーマ数；1/29）

I-2 高度な生産を可能とする技術

⑰ インライン計測

II. 設計・製造プロセスを高度化するための技術（計測に関係するテーマ数；6/9）

II-1 設計・製造プロセス最適化のための知能化・情報化技術

- ① 3Dを活用した一気通貫システムの構築
- ② 鋳造シミュレーションの高度化及び高精度化
- ③ 3Dデータの徹底的活用
- ④ 鋳造品の設計支援システム

II-3 高品質・新機能を支える評価技術

- ⑧ 計測技術の高度化（寸法・欠陥・材質・温度・湯流れ）
- ⑨ コンピュータを利用した鋳物組織・特性評価予測による品質保証技術

III. 社会的要請や制約に対応するための技術（計測に関係するテーマ数；1/14）

III-3 安全・安心・快適な生活のための素形材技術（医療・生体関連、低騒音・低振動、有害物質の排出抑制等）

⑬ トレーサビリティ向上

以上の開発テーマを個表を基に分析すると大きく三つに大別できると考えられる。

- (1) I-2 ⑰インライン計測；熟練技術者の暗黙値を生かした生産工程管理
- (2) II-1 ①～④3Dデータによる設計支援（CAD/CAM/CAE）
- (3) II-3 ⑧、⑨鋳物の評価技術（寸法・欠陥・材質・温度・湯流れ、トレーサビリティを含む）

これらの鑄造技術分野ロードマップでの計測技術に関する事項並びに本委員会での検討事項等から図 2.1.1.1 に示す概要が実現できる鑄鉄鑄造ラインを将来像と考える。

すなわち、「鑄物品質の安定化（トレーサビリティを含む）」「設備の安定稼動」「予防保全」「工程能力の保証」「生産管理」が各々独立したシステム、データではなく、計測したデータがこれらのシステムの中に取り込まれ、鑄物のQCD全てに有効に、且つ一元的に管理運用されるシステムの構築がなされたラインが将来像と考える。



図 2.1.1.1 計測技術の将来像

2.1.1.2 計測データの活用方法

2.1.1.1 項で記したように鑄鉄鑄造において、計測データの活用は「鑄物品質の安定化（トレーサビリティを含む）」「設備の安定稼動」「予防保全」「工程能力の保証」「生産管理」の各々に活用される。

しかし、現状ではそれらが一元的に管理、活用されているところはごく稀であるのが現状である。

そのため、鑄造技術分野ロードマップでの計測技術に関する各事項をまとめると表 2.1.1.1 のようになる。

表 2.1.1.1 鑄造ロードマップでの計測技術に関する事項

テーマ名	技術の概要	活用方法・波及効果
インライン計測技術	製造ラインのモニタリング技術はかなり進歩している。しかし、熟練技術者の減少により、これまで彼らの五感に依存していたノウハウが失われつつある。工場全体は順調に稼動しているかを、熟練技術者のノウハウを自動計測化し、製造ライン全体として計測、評価する技術が重要である。	故障予知、安全予知であり、従来とは異なる、新しい発想に基づくプラントエンジニアリング。機器の安全性の向上・不良率の低減、ノウハウとしての技術輸出等が考えられる。
3Dを活用した一貫通貫システムの構築	受注時のコスト試算や設計変更に始まり、生産及び不具合管理までを、3Dデータを基本に一貫通貫させたシステムの開発が望まれている。具体的には、コスト試算・日程管理・強度解析・方案解析(湯流れ・凝固・変形)・製造履歴・溶解管理・寸法精度・不具合までが管理もしくは予測可能なシステム	受注から発送までの全行程を、3Dデータを一貫通貫させることにより、多品種少量化への対応が可能になる。

表2.1.1.1 鋳造ロードマップでの計測技術に関する事項(続)

テーマ名	技術の概要	活用方法・波及効果
鋳造シミュレーションの高度化及び高精度化	鋳造プロセス中に発生する様々な物理現象を定式化して近似的に解く数値解析方法であり、溶湯の充填状況や凝固過程等の挙動を計算機上で予測する技術。鋳造プロセス中の様々な物理的挙動を科学的に可視化(予測)する技術の実用化は、リードタイム短縮及びコスト低減だけではなく、質の高い設計を実現するために重要度が増している。	<ul style="list-style-type: none"> 各鋳造プロセスで発生する不具合現象の科学的な解明と対策。 試作レスによる大幅な開発期間短縮・コスト低減及び設計品質の向上。
3Dデータの徹底的活用	3次元CADを使用して作成された設計モデルデータを基に図面を介さず(図面レスで)直接模型や鋳型を製作する技術、更に、設計モデルを寸法精度測定、数値解析及び試作品の代替等様々な工程で利用する技術。	<ul style="list-style-type: none"> 3Dデータを活用したコンカレントな設計検討による設計効率向上。 CAE・CAT等との相乗効果による高品質・高信頼性の実現。
計測技術の高度化(寸法・欠陥・材質・温度・湯流れ)	鋳造品の寸法検査・内部及び外部の欠陥検査・異物の欠陥検査・組織・強度・硬さ等の検査・溶湯性状の検査・機械設備等の各種検査・鋳造過程の温度・流れ等の計測・鋳物や鋳型の物性値の計測等が定量的に容易且つ高速・高精度に計測できる技術の確立が期待される。	<ol style="list-style-type: none"> 1.正確に寸法・欠陥・物性値等を調査することにより、高精度のシミュレーションソフトの開発ができる。 2.溶湯性状・欠陥・機械的性質が予測できるようになり、高付加価値の製品が作れるようになる。
トレーサビリティ向上	鋳造工程で生産される生産物の品質を保証し、品質を向上させていくために、鋳造条件、検査結果と製品との紐付けをする技術。	<ol style="list-style-type: none"> 1.鉄、中子等へのシリアルNo.付与技術。 2.湯流れ、凝固等の加工点、欠陥等の品質の定量計測技術 3.トレーサビリティ結果の検索技術。

2.1.1.3 計測システム

計測システムとしては目的に応じて2.1.1.1項で記した三つの目的に大別できると考える。

- 1) インライン計測；生産工程管理
- 2) 3Dデータによる設計支援(CAD/CAM/CAE)
- 3) 鋳物の評価技術(寸法・欠陥・材質・温度・湯流れ、トレーサビリティを含む)

1) 項の「生産工程管理、設備管理に用いられるインライン計測」の計測システムの構築は、現状の制御・IT技術、センサ等を駆使すれば、システムの構築ほぼ問題なくでき

ると考える。よって、これらについては鑄造設備メーカー等が保有しているシステム、もしくは改良、改善で対応できると考える。

次に2) 項の「設計支援」のための計測システムは、CAD/CAM/CAEのソフトウェアが鋭意開発しており、これにはその時々ハードとソフトの技術レベルに達した商品を選んでいるのが現状である。

3) 項の「鑄物の評価技術」は「鑄物の品質」保証に係るもので、大別すると「工程内管理」と「検査」の二つが考えられる。これは第1章でも記した通り「工程内管理」に関しては、現時点では技術的には、すなわち、工程内の計測・制御技術としては相当高いレベルにあると考える。それが一部の鑄造メーカーだけで行われているのは、それに係る投資と鑄物価格のギャップにあると考える。

しかし、「検査技術」としては多くの項目があり、その項目を検査するための技術的手法も異なるため、各社大変苦労している。

そのため、鑄造技術ロードマップの中で重要度◎として「Ⅱ-3⑧計測技術の高度化(寸法・欠陥・材質・温度・湯流れ)」が挙げられている。

2.1.1.4 個別センサ技術の方向性

表 2.1.1.2 の事項に関する検討結果を以下に記す。

表 2.1.1.2 個別センサ

項目	期待されるセンサ	備考
インライン超高速三次元寸法、形状測定システム(鑄型、鑄物)	レーザー	
インライン非破壊超高速内部透視システム(鑄物)	超音波 AE	X線の場合は設備、資格が問題となる。
非研削非破壊鑄物内部構造(金属組織・介在物等)評価装置	一部 超音波、AE	金属組織は非破壊では困難な場合も考えられる。
高温溶湯中のガス迅速測定装置	インラインでの計測	

2.1.2 アルミ重力鑄造における計測技術の将来像

本項では「素形材技術戦略2008」の鑄造技術分野ロードマップをベースにアルミ金型鑄造における計測技術の取り組むべき課題について報告をする。

2.1.2.1 インサイチュウ (in site) での計測機能を有する理想ライン

アルミ鑄造は各工程の自動化を図り、精度良く計測し、高品質で均一性をもたらす必要があるが、現状では自動化が難しく、熟練技術者の経験や知恵の積み重ね(暗黙知)に頼らざるを得ない。

特に、アルミ鑄造品は自動車用エンジンの重要保安部品も多く、川下産業からは品質保

証の強化を求められている。今後、鋳造業の製造力を一層強化するためには、インサイチュウでの計測技術を駆使しながら、最適条件の設定や機器の制御を行う。

又、熟練技術者の技量（ノウハウ）を可視化し、極力定量的に捉え、鋳造現象を適切に制御し、軽量・高品質・高精度でコスト競争力のある鋳造ラインが必要と考えられる。鋳造工程の計測イメージを図 2.1.2.1 に示す。

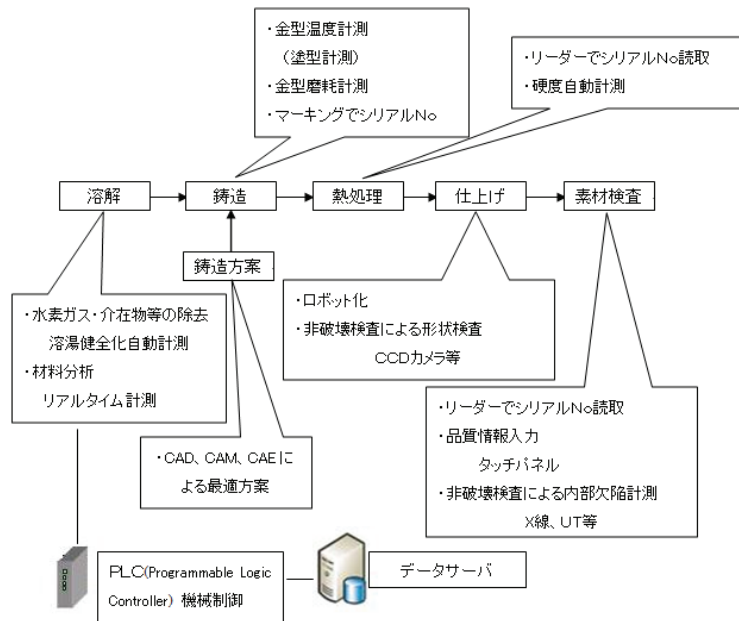


図 2.1.2.1 計測データを一元管理(トレーサビリティシステム)したアルミ鋳造ライン生産管理や設備管理・稼働まで取り入れた工程管理システム構築

2.1.2.2 計測データの活用方法

計測データはアルミ鋳物の生産条件（品質・工程能力）及び生産管理に活用される。特にトレーサビリティを行い、データを一元管理し紐つけし、現場で見える化を具体化させる近道と言える。

下記に具体的な計測データの活用方法を述べる。

i) アルミ溶湯清浄度の計測

介在物等の計測には溶湯清浄度判定装置を利用して凝固曲線から金属組織の微細化や介在物の量を算出し溶湯清浄度を判定する。

ii) 金型の温度計測

金型温度計測にはサーモグラフィを利用して金型表面全体の温度分布を計測し、鋳造中（金型が閉じている状態）では複数の熱電対で計測し、差分を評価し金型温度を最適化する。これら計測により、より細やかな温度管理が可能になり、金型の部分冷却や部分加熱をより科学的に分析し、内部鋳物巣の減少、湯流れ不良低減等に活用する。

図 2.1.2.2 に金型温度分布並びに金型表面对角線上の温度変化のプロット、図 2.1.2.3 には金型温度制御イメージを示す。

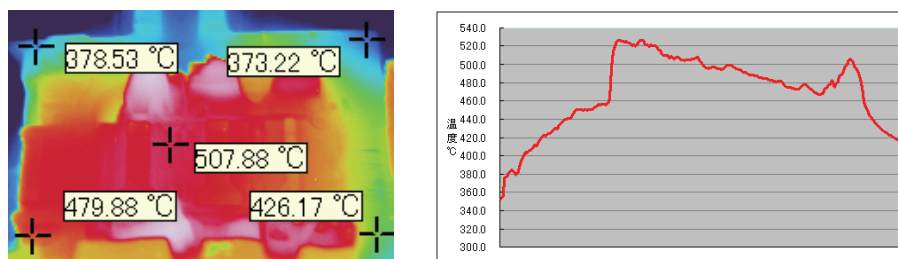
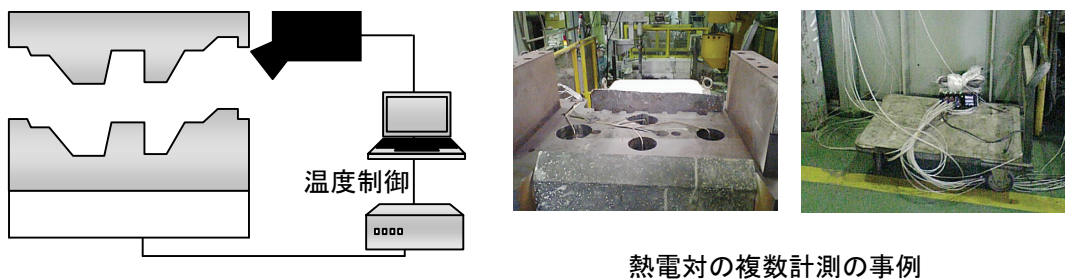


図 2.1.2.2 サーモグラフィによる金型表面温度分布（100°C以上の温度差）



熱電対の複数計測の事例

図 2.1.2.3 サーモグラフィと熱電対を組み合わせた金型温度計測システム

iii) 鋳物内部の欠陥の計測

高品質を保証するための計測には、製品内部を非破壊検査システムが有効である。超音波探傷器やX線CT、又、鋳物の不良分析には電子顕微鏡（SEM）やエネルギー分散型X線分析装置（EDS）が使われている。特に、鋳物内部の形状や欠陥を非破壊で計測するには、X線CT

が最も有効で寸法測定、欠陥抽出手法として注目する。更に、CT画像から3次元モデルを作成し、内部欠陥をデジタル計測後、解析を行っている。主な計測項目は以下である。図 2.1.2.4 に計測事例を示す。

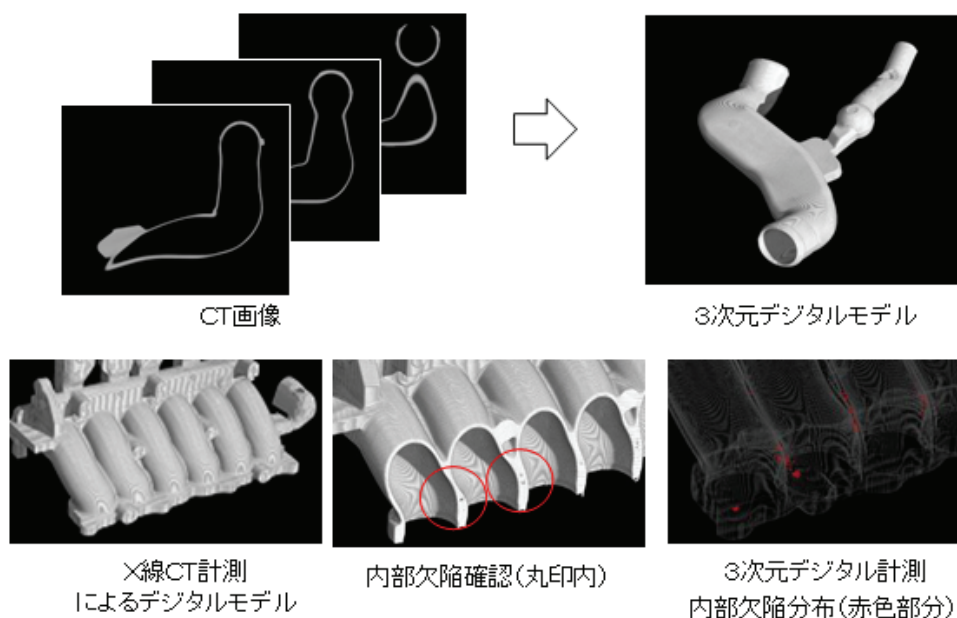


図 2.1.2.4 X線CTによる計測活用事例

主な計測項目

- ・ 鋳物巢の位置、大きさ、体積の計測（ポロシティ計算）
- ・ 肉厚、クリアランスの計測
- ・ 鋳物とCADデータの形状比較
- ・ STLデータ出力で鋳造解析ソフトと連携し、フロントローディングツールとして活用

更に光学式（CCDカメラ）・接触式の3次元計測機器とX線CTを組み合わせれば、更に高度な形状計測と精度が向上するものと考えられる。

iv) 硬度自動計測

ポータブル硬度計をインライン化させ、全数計測を行う。計測データはアナログ信号で出力し、トレーサビリティデータとして取り込み、品質保証強化を図る（図2.1.2.5参照）。

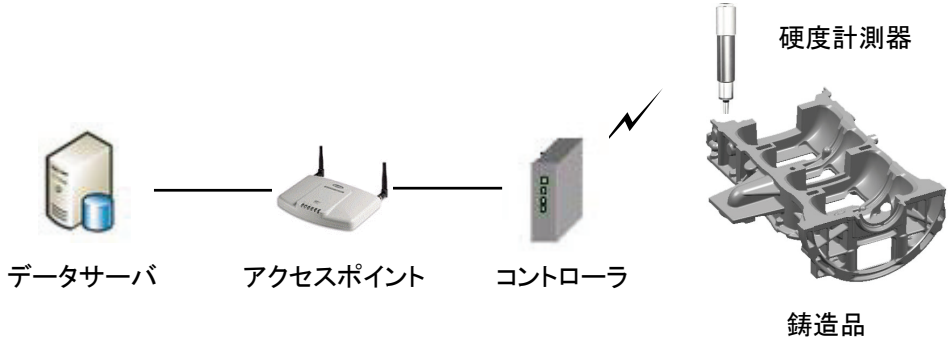


図 2.1.2.5 硬度計測のトレーサビリティ

v) 金型磨耗の計測

3次元デジタルサイザーで計測し、CADデータと照合した後、変化量が外れた部位に修正をかける。金型メンテナンスの効率UPと精度UPを図る。更に修正履歴をトレースすることで、メンテナンス予測を図り、保全管理を強化する（図2.1.2.6参照）。

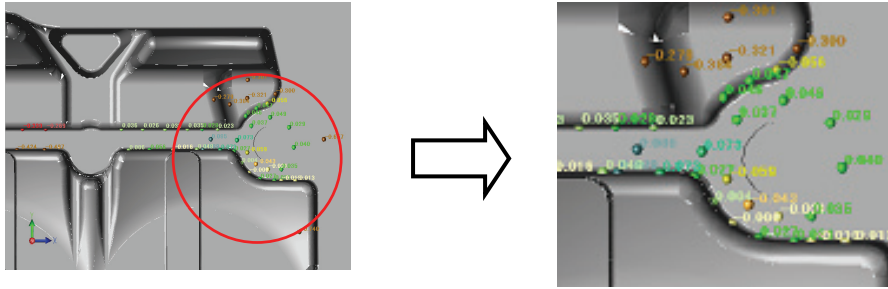


図 2.1.2.6 金型磨耗による形状変化の計測

vi) 塗型厚の計測

塗型は自動化が遅れており、熟練技術者に依存している。熟練者が施してもばらつくことがあり、塗型作業は管理や技術伝承が困難な技術とされてきた。塗型ロボットによる塗型厚を計測し、フィードバックをかけながら、所定の塗膜厚（約100μ前後）で管理することで、品質の均一化を図る（図2.1.2.7参照）。

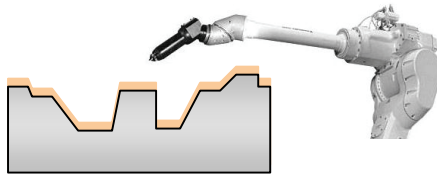


図 2.1.2.7 熟練技術者からロボットによる自動塗型塗布

2.1.2.3 計測システム

アルミ鋳造の計測システムとしては、劣悪環境下の中で、図 2.1.2.1 に示したトレーサ

ビリティを中軸にした各工程の計測を精度良く、安定計測させ、更に生産管理、設計支援、品質評価技術（フィードバック制御）を取り入れた計測システムが必要と考える。下記にシステムイメージを示す（図 2.1.2.8 参照）。

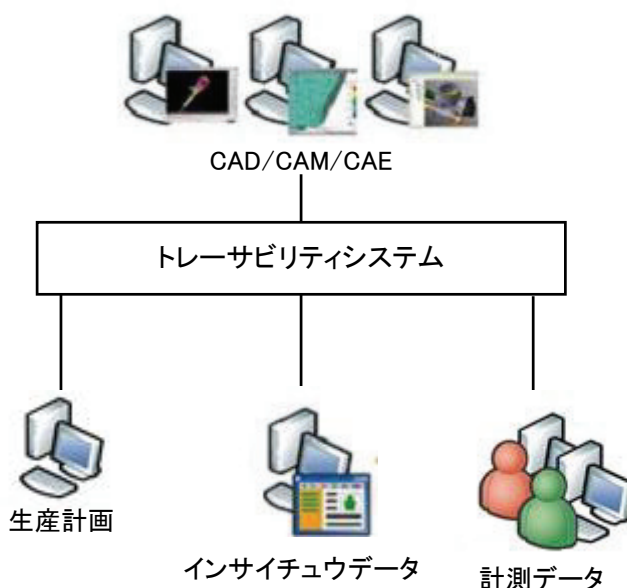


図 2.1.2.8 アルミ金型鑄造 インテリジェントライン化構成イメージ

2.1.2.4 個別センサ技術の方向性

高温、振動、粉塵、ノイズ等の悪条件下であっても、安定して容易に計測可能な各種センサが必要とされ、以下のセンサの高度化が必要と考える。

- ・アルミ溶湯中の水素ガス量計測及び介在物・金属組織計測：
耐久性が優れ、消耗品も含めて安価。
- ・金型温度計測(表面温度)：
サーモグラフィの耐熱や耐久性の向上、劣悪環境下で精度落ちない（ex レンズくもりで精度低下等）。
- ・金型温度計測(鑄造時)：
熱電対の無線化（内蔵化）、有線では断線や金型交換時の脱着での効率面の克服。
- ・金型塗型自動ロボット：
塗膜厚計測値をフィードバックしたロボットによる完全自動塗型。
- ・X線の検査インライン化：
鑄造現場で利用可能な装置（安全性、価格、耐久性）。

2.2.1 鍛造における計測技術の将来像

本工では、「素形材技術戦略2008」の鍛造技術分野におけるロードマップの考え方を基に、鍛造技術の将来像と取り組むべき課題の中から計測技術に望まれる計測機能、活用方法、システム、個別要素技術について言及していく。

(1) 鍛造技術の問題点と将来像

「素形材技術戦略2008」によると、現在の日本の鍛造の弱みは下記のものである。

- ・ 設計等を経験に頼って、独自のIT利用技術が少ないため、生産準備に時間がかかる。
- ・ 航空機部品等高付加価値品が少なく、付加価値の低い鍛造品が多い。
- ・ 常にコストダウンが求められ、資金不足が経営を圧迫している。
- ・ 優秀な人材が集まり難く、人材不足に陥っている。
- ・ 作業騒音、エネルギー消費、潤滑の環境負荷が大きい。

これらの問題点を解決し、日本の鍛造業を活性化するため、ロードマップでは日本の鍛造業が目指すべき将来像を次のように設定している。

- ☆ IT支援技術の活用による設計、生産の高効率化
- ☆ 独自の環境技術による地球環境、作業環境の改善
- ☆ 精密鍛造による軽量複雑形状部品等高付加価値品の製造
- ☆ 経済的生産技術による国際競争力の強化

(2) 取り組むべき技術課題

「革新的次世代鍛造技術」によると、日本の鍛造業の将来像は下記4項目にまとめられている。

- ① コスト競争力のある「高精度、軽量部品を鍛造で製造」
- ② 高歩留まり低CO₂排出の「環境に優しい鍛造ライン」
- ③ 短工程、低不良率、長金型寿命の「合理的な生産ラインの実現」
- ④ IT技術を活用した「生産準備期間の短縮」

これらの将来像を実現するためには、材料分野の革新や周辺技術の高度化と、鍛造プロセスの革新が求められている。

本章では、将来像を実現するための鍛造プロセス革新を推進する上で必要な技術開発の課題を纏めたロードマップから、計測技術に関係の深い項目についてピックアップしていくことにする。

ロードマップは下記のカテゴリーで整理されている。

- I 高品質・高付加価値の素形材製品を製造するための技術
- II 設計・製造プロセスを高度化するための技術
- III 社会的要請や制約に対応するための技術
- IV 素形材技術革新を支える技術的基盤

上記将来像とロードマップの各項目は、必ずしも個々に対応しているわけではない。本章では、最初に鍛造技術の将来像の各項目に対し、ロードマップに記入されたどの開発項目が該当するかを整理し、その後に、開発項目について開発を推進するために必要な計測技術について言及することとする。

日本の鍛造業の将来像と、それを実現するための技術開発ロードマップとの関連を表2.2.1.1~4に示す。

表 2.2.1.1 「高精度、軽量部品を鍛造で製造」の関連項目

開発項目	技術概要
制御鍛造による材料の作りこみ	鍛造時に、必要などころに必要な特性(高強度部位、良機械加工性部位等)を作りこむ技術
鍛造中及び鍛造後の材料組織と熱処理歪の予測・制御技術	鍛造後の材料組織と熱処理歪を制御、予測する技術
難加工材の鍛造	延性の低い、或いは変形抵抗の高い材料等を高精度に鍛造する技術
高精度ヘリカルギヤ鍛造プロセス	成形荷重や金型への負荷を低減し、熱処理歪の少ない高精度なヘリカルギヤを成形する技術
軽量化(板・中空・薄肉)鍛造	板を用いた鍛造、中空・薄肉形状を成形する鍛造技術
ロボット・マイクロマシン用部品の精密鍛造	超軽量・微小部品を高精度に鍛造する技術
鍛造品の画像処理三次元計測	高速化し全数自動保証する技術
鍛造品の強度保証	鍛造品の強度を短時間で簡易的に計測する技術

表 2.2.1.2 「環境に優しい鍛造ライン」の関連項目

開発項目	技術概要
無酸化熱間鍛造	素材加熱時、鍛造時、熱処理時に発生する表面酸化を抑止する技術
鍛造バリレス化	素材取り、鍛造、後加工時に発生するスクラップを抑止する技術
ネットシェイプ鍛造	切削、研削等の後加工を行なうことなく最終製品にする鍛造技術
水だけの無潤滑熱間鍛造	潤滑剤なしの鍛造技術

表 2.2.1.3 「合理的な生産の実現」の関連項目

開発項目	技術概要
高機能金型表面処理技術	摩擦が低く、母材との密着性が向上した皮膜開発と膜厚制御技術
インテリジェント鍛造プロセス	素材温度、金型温度制御、金型冷却と潤滑条件を一元化した鍛造プロセス制御システム
金型、設備の予知保全	金型、設備の破損抑止のため、代用特性(温度、音等)をモニタリングする技術
金型寿命の向上	金型材料、熱処理、加工方法、表面処理技術
鍛造用知能ロボットシステム	視覚センサによる情報を収集し、加工条件をリアルタイムに判断・制御する技術

表 2.2.1.4 「生産準備期間の短縮」の関連項目

開発項目	技術概要
鍛造金型の寿命予測評価システム	金型の摩耗や割れの発生時期・量を予測するシステムを構築し、製品設計・工程設計へフィードバック
鍛造エキスパートシステム	過去の技術知見をD/B化し、パラメトリックに製品設計・工程設計を実施
鍛造熟練技術の科学的解明と技能のD/B化	熟練者の技能と知恵を実験やシミュレーションにより見える化・D/B化

上記開発項目を推進していくために、計測技術の果たす役割と将来への期待を次項で述べていく。

2.2.1.1 インサイチュウ(in situ)での計測機能を有する理想ライン

鍛造生産現場の運営の面から考えた場合、下記を満足するラインが理想的なラインといえる。

- 1) 製品の品質が全数保証できている。
- 2) 生産がノンストップで継続できる。

製品の品質については、「不良品を後工程に流出させない」といった観点で、まず高速で全数の寸法精度の良否が瞬時に判定できる計測技術が望まれる。製品の組織計測に関しては、製造条件がある程度安定していれば、全数保証ではなく抜き取り検査でも許容できる。

又、「不良品を作らない」といった観点では、品質不良となる製造条件を把握し、その条件から逸脱しそうになると、理想で言えば良品条件側に制御する、最悪でも、生産を停めるのが理想的である。

次に、ノンストップ生産を実現するには、金型や設備の異常を事前に予測し、予防保全が実施できる仕組みを構築することが必要である。金型異常の代表例としては、被加工材の金型への張り付きや突然の型破損等がある。成形荷重を正確に計測していれば、その変化によって金型異常が発生しつつあることを予測できる可能性はあるが、現実的には成形荷重に影響を及ぼす因子は他にもあり、なかなか金型異常を予測することは困難である。

最も望ましいのは、連続加工中の摩擦係数を直接計測できる技術である。摩擦係数の変化から型界面の摩擦状態を知ることができ、更に潤滑条件の変更をリアルタイムで実施できれば、金型異常によるライン停止は予防できる。

又、金型摩耗による生産停止を防ぐためには、金型摩耗量が許容値を超えてしまう前に金型を交換するか補修する必要がある。予め鍛造条件と金型摩耗量の関係を把握できていれば、生産可能数の予測ができ、生産途中での停止をなくすことができる。

一方、設備異常によるライン停止は、異常の程度にもよるが長時間停止になることが多い。設備異常によるライン停止を抑止するためには、設備故障モードのデータベース化と故障箇所のモニタリングを行い、未然に故障しないように保全を実施することである。設備異常を事前に検知し、予防保全が実施できるような計測技術の確立が望まれる。

2.2.1.2 計測技術の活用方法

2.2.1(2)項にて述べた開発項目に対し、その開発を推進していくために必要な計測データとその活用方法を説明していく。取り組むべき技術課題毎に、開発項目全体に共通して必要と思われる計測データとその活用方法について表2.2.1.5～8にまとめた。

高精度、軽量部品の鍛造技術開発(表2.2.1.5)に必要な計測データとしては、加工中に材料特性がどう変化し、その特性が欠陥を引き起こさない範囲で変形しているか、又その条件を満足するような鍛造条件の範囲内に収まっているかを知る必要がある。

製品精度に関して言えば、鍛造時の精度だけでなく、鍛造後の熱処理時の製品精度まで追跡調査できることが望ましい。

表 2.2.1.5 「高精度、軽量部品を鍛造で製造」のための計測技術

開発項目	計測すべきデータ	活用方法
制御鍛造による材料の作りこみ	[加工中] ・製品形状変化 ・成形荷重・面圧変化 ・材料特性(組織・強度)変化 ・鍛造条件(温度、加工度等) [加工終了後] ・製品精度(鍛造後、熱処理後)	製品設計・工程設計へのフィードバック
鍛造中及び鍛造後の材料組織と熱処理歪の予測・制御技術		
難加工材の鍛造		
高精度ヘリカルギヤ鍛造プロセス		
軽量化(板・中空・薄肉)鍛造		
ロボット・マイクロマシン用部品の精密鍛造		

そのような計測データを活用して、製品形状、要求品質と鍛造条件を明確にし、そのデータを製品設計、工程設計へフィードバックしていく。

環境に優しい鍛造ライン(表 2.2.1.6)を実現するためには、鍛造時の酸化スケールを抑制する無酸化鍛造や、バリレス化、切削時の切り粉を出さないネットシェイプ鍛造等が開発項目として挙げられている。例えば、無酸化鍛造技術では、加工中の酸素濃度を計測し、その量が制御できているかどうかを監視しなければならない。又、その酸素濃度に応じた酸化スケールの影響により、被加工材の表面粗度や脱炭深さ等がどう変化していくかも計測する必要がある。

バリレス鍛造については、バリレス鍛造時に、金型内へ材料が十分に充満し、且つ金型が破損しない範囲内での成形面圧に収まっているかを確認しておく必要がある。

表 2.2.1.6 「環境に優しい鍛造ライン」のための計測技術

開発項目	計測すべきデータ	活用方法
無酸化熱間鍛造	[加工中] ・酸素濃度 ・酸化スケール発生量 [加工終了後] ・表面粗度、脱炭深さ ・製品強度	加熱条件と製品品質のメカニズム解明
鍛造バリレス化	[加工中] ・材料流動状態 ・成形荷重、面圧 [加工終了後] ・製品精度 ・製品強度	製品設計・工程設計へのフィードバック
ネットシェイプ鍛造		
水だけの無潤滑熱間鍛造	[加工中] ・型界面の摩擦係数 ・成形荷重、面圧 [加工終了後] ・製品精度 ・面粗度	潤滑条件と製品品質のメカニズム解明

合理的な生産の実現(表 2.2.1.7)のための開発項目としては、主に周辺機器の高度化のための計測技術開発が望まれる。例えば、設備内のベアリング等摺動箇所に焼き付等の異常現象が発生し、摩擦熱により温度上昇が起こり、最終的には破損するといった故障モード

であれば、その部位の温度を常時計測しておき、所定の温度以上になったら、修理するといった仕組みである。このようなシステムを組み込めば、生産途中で突然生産停止を余儀なくされるといったことは防止できる。

表 2.2.1.7 「合理的な生産の実現」のための計測技術

開発項目	計測すべきデータ	活用方法
高機能金型表面処理技術	<ul style="list-style-type: none"> 金型界面の摩擦係数 皮膜強度(硬度、密着性) 	適正な表面処理条件の把握
金型、設備の予知保全	<ul style="list-style-type: none"> 設備条件(温度、歪量等) 成形荷重、面圧 	予防保全条件の確立
鍛造用知能ロボットシステム	<ul style="list-style-type: none"> 被加工材の形状、位置、温度 金型形状、位置、温度 	視覚センシングデータとハンドリング制御技術を融合し、熟練者の代替化

又、鍛造用知能ロボット開発では、鍛造中の被加工材をロボットで搬送できるよう、把持すべき被加工材の形状、位置、温度等を計測し、搬送すべき金型の形状、位置、温度等の計測データと付き合わせて被加工材を位置決めするといった技術が提案されている。視覚センシングデータを活用し、ロボットのハンドリング技術と融合させるといった内容である。

表 2.2.1.8 「生産準備期間の短縮」のための計測技術

開発項目	計測すべきデータ	活用方法
鍛造金型の寿命予測評価システム	<ul style="list-style-type: none"> 金型材料熱軟化特性 金型材料の高温強度 表面処理の熱軟化特性 熱伝達係数 	型摩耗予測シミュレーションへのフィードバック

生産準備期間の短縮(表 2.2.1.8)については、CAEを用いた予測技術の信頼性向上や過去の知見をD/B化したエキスパートシステムが有用であり、これらの技術、システムを確立するための計測技術が望まれる。例えば、鍛造金型の寿命予測評価システムにおいては、金型摩耗量を決定する諸因子(金型強度、金型への機械的負荷、熱的負荷)を正確に計測し、摩耗予測式に織り込むことが必要である。そうすれば、金型摩耗予測シミュレーションによる予測精度が向上し、生産現場での確認実験が効率的に実施でき、生産準備期間の短縮に繋がるのである。

2.2.1.3 計測システム

今一度「素形材技術戦略2008」の中の「革新的次世代鍛造技術」における鍛造プロセスの革新欄に目をやると、実効性の高いシミュレーション予測とインライン計測制御がプロセス革新を下支えする構図になっている。熱間鍛造で言えば、被加工材の材料特性から加熱、成形等の鍛造工程、更に鍛造後の熱処理まで工程スルーでの製品品質情報と、金型、設備、鍛造条件等の製品品質に影響を及ぼす種々の条件との関連を正確に、且つリアルタイムでわかるシステムが望まれる。このデータは、一つの鍛造ラインの生産管理だけでなく、同時並行で生産している他のラインにも瞬時に情報展開ができるような管理システムの実現にも期待したい。

又、それらのデータを、次世代の製品開発、工程開発にフィードフォワードするために、各種シミュレーション予測技術の高度化やエキスパートシステムの高度化に活用できるのではないかと思う。

2.2.1.4 個別センサ技術の方向性

以上を踏まえて、計測技術に関する個別センサの技術的方向性について図2.2.1.1にまとめた。但し、金型摩耗量と金型温度、潤滑条件計測といった限定された範囲で検討した。

まず、金型摩耗量計測技術では、現状では金型をプレス外に持ち出して計測しており、手間と時間が掛かっている。あるべき姿としては、インライン計測が可能で計測精度は±0.1mmを期待したい。

次に、金型温度計測であるが、現状はサーモビューアでは型上面の一部しか計測できず、インプレッション等重要な部分が計測不可能である。ファイバースコープのようなものかミラー等を使って、金型の奥まで正確に計測できるような計測器の開発が期待される。但し、劣悪な環境の中でも、精度よく型温が計測できる計測器の開発が望まれる。

潤滑膜厚計測では、膜厚計等で計測しているが、設備停止後しばらくしないと計測できないし、手作業で計測しているため計測精度も良くない。インラインでは直接膜厚を計測することができないので、乾燥皮膜が形成されているかどうかを金型表面の色等で判定している。インラインで直接潤滑膜厚が計測できる技術開発を期待したい。

潤滑液流量、液圧については、潤滑液元バルブの流量管理が行われているが、実際に管理したいのは、ノズル一つ一つから噴射される流量と噴霧位置である。ノズルの詰まりは圧力計等で管理できるが、流量と噴霧位置については正確に計測できる技術がない。又、噴霧位置を決定する潤滑液の噴霧圧力も計測したいが、受圧センサの性能（曲面での使用不可）に限界があり、正確に計測できない。いずれも、インラインで各ノズルの流量、圧力を計測できることが望まれる。

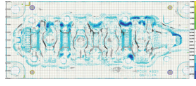
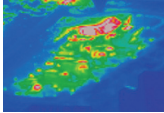
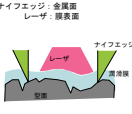
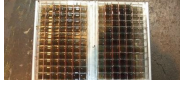
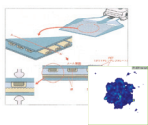
計測項目	計測器	現状	あるべき姿
型摩耗量計測 目標： 計測精度±0.1mm	型摩耗計測器 	<インライン> ・計測不可 <オフライン> ・プレス外で形状計測 工数大	<インライン> ・計測可 精度±0.1mm
型温計測 目標： 型の奥が計測できる	サーモグラフィ 	<インライン> ・サーモグラフィ 型上面の一部のみ (重要部が計測不可) <オフライン> ・設備停止数分後に 接触式	<インライン> ・型内部まで 計測可
潤滑膜厚・分布計測 目標： 型組付け状態で計測 計測精度±1μm	簡易膜厚測定 	<インライン> ・膜塗布の色判定 (目視) <オフライン> ・停止数分後に膜厚計 にて手動計測 → パラッキ大 真値が不明確	<インライン> ・膜厚計測可
潤滑液流量計測 目標： 流量分布がみえる	流量計測装置 	<インライン> ・潤滑液元バルブ流量 <オフライン> ・各ノズルの流量・方向	<インライン> ・各ノズル毎の 流量計測可
液・エア圧力計測 目標： 相対的な分布判定	シート状液圧センサー 	<インライン> ・エア元バルブ 圧力、流量 <オフライン> ・各ノズルの流量・方向	<インライン> ・各ノズル毎の 流量計測可

図 2.2.1.1 個別センサ技術の方向性

2.3.1 微細部品プレス成形における計測技術の将来像

ものづくりの高付加価値化による優位さを保つことが日本のものづくりによって益々重要となってくる。そのためには、微細部品プレス加工技術を現在の家電、IT関連機器部品から、エネルギー、健康福祉、バイオ分析、医療等高付加価値市場への展開が今後の発展方向であると思われる。そして、技術の高精度化だけでなく、表面機能性や更に安全性等も求められ、より複雑な部品構造や微小機能デバイスの生産加工技術が必要となる。微細部品の精密プレス成形における技術課題を図2.3.1.1に示す。又、「素形材技術戦略2008」のプレス技術分野ロードマップ中の関連重要技術を以下に挙げる。

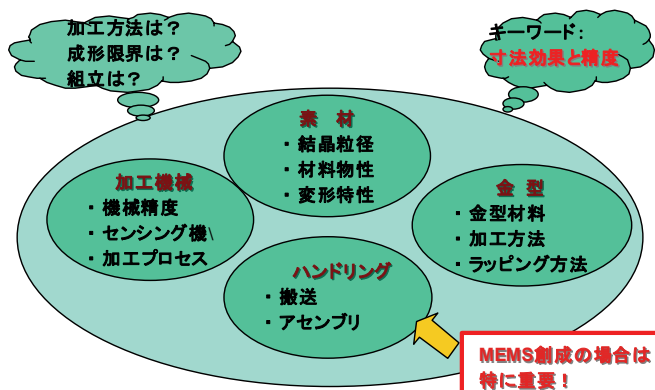


図 2.3.1.1 微細部品精密プレス加工の技術課題

- ・ 高度知能化プレス成形システム
- ・ 微細・超精密成形技術
- ・ マイクロデバイスの金属成形技術
- ・ 燃料電池セパレータ向けの微細プレス加工技術

これらの技術課題に対して、プレス成形システムとしては、高精度なプレス加工機械、金型だけでなく、高度な知能化計測・制御システムが重要となる。プロセスのデジタル制御、インライン計測・補正技術、生産条件の最適化、シミュレーション技術との融合等の高機能な装置や制御を有するプレス成形システムが望まれる。

2.3.1.1 インサイチュウ(in situ)での計測機能を有する理想ライン

上述のような技術課題と重要技術項目を踏まえて、今後の微細部品・デバイス精密プレス加工のシステムとしては、高機能精密プレス成形システムが挙げられる。精密小型サーボプレス機械を用いることにより機械剛性が高く、加工中に各種センサ情報をフィードバックすることにより加工の最適制御が可能となる。金型内部に各種センサを内蔵し、加工中に金型内の圧力、温度変化、金型の変形や微視亀裂の発生を検知し、更に製品の品質保証、金型の補修時期、寿命を予測する機能を有する知能金型である。更に加工情報をサーボプレス機にフィードバックし、異常を検知したら良品を作る条件へリアルタイムにインプロセスで加工条件を制御する。あるいは、制御困難な場合は機械を停止し、不良発生を未然に防止するインプロセス知能生産システムである。（参考：素形材技術戦略2008）

又高精度化のために順送金型内に各種センサを内蔵し、素材の平坦度や表面粗さ等を検出し、適切な矯正プロセスによる素材の改質を可能にする。更に素材の型内位置決めセンサと精密材料送り装置により、多方向から供給された素材をプレス成形後、型内組立を可能とする。

2.3.1.2 計測データの活用方法

計測データの活用法を表2.3.1.1にまとめる。センサ情報の組合せによる材料変形の把握、精密位置決め、品質検査、金型内での変形解析、更に不良のリアルタイム検出等が挙げられる。

表2.3.1.1 計測データ活用法一覧

計測技術名	活用方法・波及効果
型内マイクロセンサ技術	材料変形の把握、その情報をフィードバックすることにより、ばらつきの矯正、精密位置決め、品質検査ができる。更に、金型内での変形解析等とリンクすることで、金型内各プロセスの可視化が可能。
知能金型技術による型の寿命予測	金型摩耗に起因するばり増大やかす上がり等の不良のリアルタイム検出。製品の品質保証、金型の補修時期、寿命を予測することが可能。
インプロセスでの知能生産システム	正常動作からはずれ、動作不良の場合、現場の職人は音から異常を判断するケースが多いが、職人に代わって金型と素材の接触状態の変化に起因する異常を検出し、不良発生を判断する。

又、第1章 1.3.1.3 項に述べられた微細プレス加工の問題点に対して具体的に以下のような対応策が考えられる。

a) プレス機械の熱変形への対応

プレス機械に関して、ガイドポスト等の摺動部、モータ等の駆動部が主な熱発生源として挙げられる。これらの熱源に加えて、環境温度変化に起因する構造フレームの伸縮等がプレス機械の熱変形として考えられる。これらの熱変形によって、成形加工の精度低下につながる。高精度プレス成形を実現するためには、熱変形に強い構造設計が大変重要である。更に熱変形をオンラインでモニタリングし、自動補正するセンシング制御機能が不可欠である。この場合、変形量が～数ミクロン程度であり、小型荷重測定センサ等を利用したセンシング・制御が有効である。

b) 材料寸法、材質のばらつきへの対応

極薄板のプレス成形における素材の寸法及び材質のばらつきの検出と対応、更に平面度、平行度等の矯正及び製品の形状不良の検査システムが大変重要となる。特に型内組立の場合、バーリング加工後、カシメによる組立が多く使われ、薄材のバーリング加工が材料品質（材質のバラツキ）に大きく影響され、材料品質の管理が重要である。この場合、加工中に板厚検出精密ギャップセンサ、材料変形抵抗等の材質特性検出のための統合センシングシステムが有効である。又、型内画像処理システム等による製品の形状測定によるモニタリングも有効である。

c) 表面傷への対応

金型摩耗等に起因するバリやカス上りを防ぐための金型内でのモニタリングシステムの開発が重要となる。ダイとストリッパーとのギャップの変化等によるカス上りの直接測定だけでなく、マイクロ圧力センサによる金型の接触検出や、AEセンサ等を使った金型摩耗による加工状態の変化の間接的測定を組み合わせることにより、より確実なモニタリングができ、加工条件の変更や金型の交換等を適切に実施可能となる。

2.3.1.3 計測システム

計測システムとしては、上述の目的に応じて、以下の三つが挙げられる

1) 型内マイクロセンサ技術

型内の素材位置、板厚検出、ダイとストリッパとのギャップ、加工荷重等を計測するためのマイクロ計測技術及び荷重、変位、金型内の素材変形状態、金型内での素材位置等をリアルタイム検出し、センサ信号を統合的に処理することが可能な計測システムである。

2) 知能金型技術による型の寿命予測

金型内に圧力、亀裂及び温度を検知するセンサを挿入し、加工中の金型の変形、微視亀裂の発生を検知するセンサシステムである。

3) インプロセスでの知能生産システム

不良発生を検知できる加工要因を常時モニタリングし、異常を検知したら良品を作る条件へ、リアルタイムにインプロセスで加工条件を制御し、不良を作らない。制御困難な場合は機械を停止し、不良発生を未然に防止する生産システムである。

2.3.1.4 個別センサ技術の方向性

上述計測システムに必要な個別センサ技術として、小型ギャップセンサ、変位計、金型一体荷重センサ、間接測定センサ等について、今後開発すべき技術方向について述べる。

(1) 小型ギャップ・変位センサ

小型静電容量型変位計等を金型に内蔵させ、ダイとストリッパとのギャップを正確に測定する。サブミクロの分解能を有することにより、カス上がりやバリ付着の検出だけでなく、金型内での薄材の板厚ばらつき測定も可能となるので、その情報をフィードバックすることにより、プレス下死点位置制御に適用できる。

(2) 金型内蔵ひずみゲージによる接触状態検出

素材と金型との接触状態より正確に把握するには、その接触圧力を直接測定することが有効である。但し、金型の外周にひずみゲージ等を貼り付けるのでは、測定できるひずみが弱く、正確に情報の把握が困難である。金型の接触面にセンサを配置することにより、高精度な接触状態の検出が可能となる。

(3) AEセンサによる異音検出

異音をAEセンサ (Acoustic Emission) を用いて判断する技術がある。素材と金型の接触及び摺動時、金型内に弾性波が生じ、金型内に伝播する。その弾性波を金型の適切なところにAEセンサを配置することにより、検出することができる。接触状態が変化すると、その弾性波形も異なるので、動作不良を検出することができる。又、AEセンサを金型周辺に複数配置し、個々のセンサに到達した信号の時間差及びパターン等のAE情報を分析することにより、AEの発生源及びそのレベルの同定ができ、すなわち、異音が発生する場所の特定ができる。

(4) その他

金型内CCDカメラと画像処理システム等が挙げられる。

2.3.2 自動車パネル部品プレス成形における計測技術の将来像

(1) 背景

自動車パネル部品は、鋼板をそれぞれの目的にあった製品形状に成形し主要コンポーネント毎に溶接され、最終的には文字通り自動車ボディを構成する部品であるが、近年の自動車会社を取り巻く環境の変化やお客様のニーズの多様化によって“魅力的なデザインの具現化”“車体軽量化”という新たな付加価値が生まれ本来の成形技術度合いの難しさからくる開発リードタイム短縮のみならず、高意匠化や高品質化を同時に行わなくてはならなくなっており、更にグローバルという観点を入れると状況は益々複雑になり、その問題解決、課題達成のために計測技術の高度化（研究開発）が望まれている。

2.3.2.1 インサイチュウ(in situ)での計測機能を有する理想ライン

(計測技術の将来像を予測する観点)

(2.1) グローバル機種・生産拠点の増加

2000年から2008年の経済ショックまで、猛烈な勢いで日本の自動車メーカーは海外生産拠点と能力、そして生産する機種数を増加しながら全世界での販売台数拡大を行ってきた。そのために、国内の生産拠点をマザー工場とし2番、3番国といった形で生産開始タイミングをずらしそれに必要とされる金型を製造する体質が構築された。

a) グローバル化に対する高度な計測技術開発のニーズ

グローバル化の結果、マザー工場（1番国）から最終生産拠点（N番国）での生産開始までのグローバル・リードタイム削減が国内外の競合他社に対する圧倒的競争力であるという認識のもと1番型の品質目標をクリアした後の金型そのものデータをいかに忠実（正確）にデジタル・コピーする技術が益々重要になってくる。

(2.2) お客様ニーズの変化：デザイン優先の購入動機

かつてはお客様の購入動機が早く走って、すばやく曲がったり止まったりする自動車本来の機能を重視したものであったのに対し、現在はエクステリア・インテリアのデザインや質感を非常に重視した動機になっており、一度保有したメーカー（ブランド）の自動車に対しても非常に満足する傾向になっている。

a) デザインに対する高度な計測技術開発のニーズ

デザイン優先の結果、これまでの比較的単一断面形状の連続であったエクステリアデザイン面からポジティブ・ネガティブ面の多様化と曲率変化の激しいデザイン面を忠実に再現するために金型への“スプリングバック見込み”が必要不可欠になり、その定量(値補整値)を把握する高度な計測技術開発が望まれる。

(2.3) 外板部品・内板部品での違い

大きく二つのグループに分類される自動車プレス部品で、まず、デザインに大きく関わりを持つサイドパネルアウターを代表とする外板部品群では、新機種開発の早い段階から生産技術部門がデザイン部門や車体設計部門に入り込みデザイン及び商品の成立性を検討

している。その際に使用する成形シミュレーション技術の精度を上げるためにも現時点で開発中、又は金型製造過程でおきる不具合とその対応を計測し記録するニーズも増えてきた。更にボンネットやドア等の蓋ものの部品にアルミ材を用いて軽量化する取り組みも増えてくると予想され外観品質との両立からも高度な計測技術が必要になる。

もう一つのグループは自動車の外側からは見えないボディそのものを構成する内板パネル群である。環境対応のための軽量化のニーズから高張力鋼板（ハイテン材）の使用が急増しこれまでの冷延鋼板成形では経験したことのない程のスプリングバックや変形が起こりその対策にも計測技術の高度化が必要になってきた。

そして、そのそれぞれの部品は自動車ボディ構成上の役割が異なるため、品質の熟成方法や金型製造方法そのものにも差がある。

従って計測技術の将来像についても異なったアプローチの仕方や求められるニーズが発生しており、それぞれのグループ別にまとめることにする。

a) 外板部品についての高度な計測技術開発のニーズ

まずはデザイン開発部門から出図されるオリジナルデータ通りの金型加工ができていかといった次元を越え金型加工時に既に複雑に変化する3次元デザイン形状のスプリングバック予測とその補正量を織り込むための金型、パネル、プレスマシンそれぞれの測定技術の高度化が望まれる。

b) 内板部品について高度な計測技術開発のニーズ

主要骨格を構成する内板部品についてはその多くが高張力鋼板を使用しており最大の課題は立て壁部や相手部品との接合面の変形、スプリングバック等を補正する量を金型設計、製造段階に反映することを目指した高度な計測方法が必要となる。

以上、自動車業界を取り巻く環境の変化と三つの観点から高度計測技術の将来像を以降にまとめるが、この三つの観点はいい換えると高意匠な車を世界の生産拠点でいかに早く量産し“お客様”に提供するかということに他ならない。

従って自動車開発（金型開発・製造）のプロセス毎に必要なとされる高度計測技術とはどのようなまとめ方をする。

2.3.2.2 計測データの活用方法

（自動車開発(金型開発・製造)のプロセス毎に必要なとされる高度計測技術と活用方法)

将来、日本の製造業（金属プレスに従事する）が生き残って行くために最重要と思われる計測技術は、その計測時間そのものの圧倒的短縮化、更に一度に測定できる範囲の限界を限りなく広げること、そして測定して得たデータをダイレクトに品質熟成に使用できないといった課題を解決し金型設計・製造を開始する以前に製品設計そのものいかに既存のモデルや過去の金型設計・製造で得たデータを反映しCAEの精度アップや金型構造、そして外板部品における外観品質不良、内板部品における寸法精度品質不良の補整値を織り込んで行くかが重要な活用方法であろう。

そして最終的には全ての補整値を金型加工データに反映しトライ1回で全ての品質目標

値を達成できるのが理想である。

2.3.2.3 計測システム

各領域で必要とされる高度計測システムは以下のことが考えられる。

① 金型製造段階（CAM領域）の計測の将来像

a. 素材形状測定

- ・ 鋳物全体を3D測定し、構造部加工時にも干渉回避として用いることで、高効率な安定無人加工の実現が図れる。
- ・ 又加工時にリアルタイムで測定+画像処理を行い、素材測定と平行して切削動作を同時に行う。（究極の姿）

b. 形状加工後測定の金型加工精度検証

- ・ 上記同様に、機上でリアルタイム測定し、工具倒れ等を考慮して自動補正を図る。

② トライアウト段階の計測の将来像

a. 計測時間そのものの圧倒的短縮化と最適金型データ反映手法の確立

測定後瞬時に基準データとの差異、改修量が算出できる仕組み造りが重要な技術となる。

b. 計測データの活用

将来的には3D非接触計測器又は画像処理方法によってデータを取り、事前に行う成形シミュレーションのファクターに追加しその精度を飛躍的に向上させたり、たわまないプレスマシン、金型の設計に活用できることが望まれる。

③ 車1台複合解析保障技術（プレス単品精度のみならずボディとしての複合品質を保障すること）

軽量化、剛性アップを達成するために、単品のみならず、コンポーネント（COMP）、ホワイトボード（W/B）で保障可能なツーリング技術を開発し、新機種開発と完全に同期化して生産部門から研究開発部門に提案できるようになるのが、将来の理想的な姿である。

2.3.2.4 個別センサ技術の方向性

金型開発段階、トライアウト段階及び量産段階において、開発を迅速に行うためや製品の品質保証の点から以下のセンサシステムが必要である。

- ・ 短時間に広範な領域を測定できる3D非接触計測システム
- ・ インラインでの量産スピードに追従できる非接触計測システム

2.3.3 高度知能化プレス成形システム

「素形材技術戦略2008」のロードマップ^{2.3.1)}は金属プレス加工分野の将来像を成形技術と生産体制の二つの項目に集約して「高度知能化プレス成形技術」と種類・量・リー

ドタイムの変動に柔軟に対応できる「オン・デマンド生産体制」としている。

高度知能化プレス成形システムでは、生産性、成形性及び金型寿命を含めたトータルの最適生産条件の設定や、インラインでの製品検査や補正技術が期待されている。そのためのプレス機械の関連テーマとして、図 2.3.3.1 の中に示されるようにサーボプレスの高精度化、高精度・高機能な多軸成形機、他分野の工法との組合せ等の複合成形機、更に環境関連ではエコプレスが取上げられている。

金属プレスロードマップにおける技術の方向性
-高度知能化プレス成形・オン・デマンド生産体制-

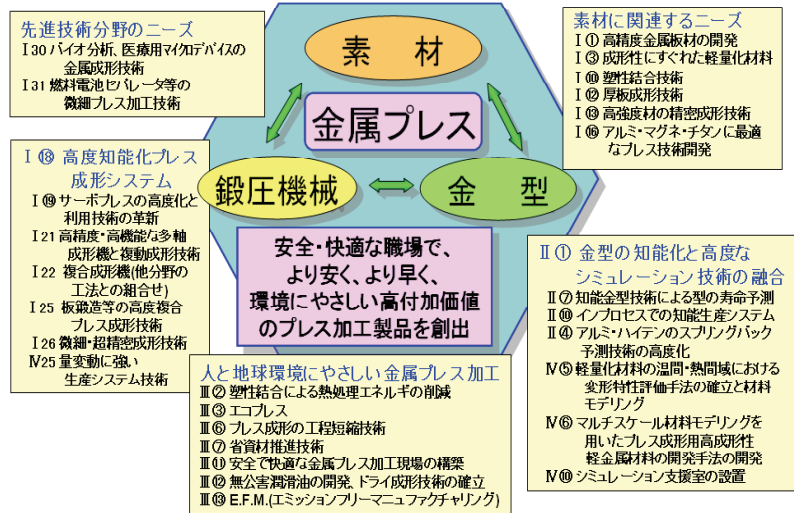


図 2.3.3.1 金属プレスロードマップにおける技術の方向性 ^{2.3.1)}

ネットシェイプを実現するためには、材料、潤滑、工法、金型、生産設備等の総合的なアプローチが必要になる。

表 2.3.3.1 は「素形材技術戦略 2008」において「高度知能化プレス成形システム」の概要、背景、現状認識、短期（2年後）、中期（5年後）、長期（10年後）の到達目標とレベル、技術内容等をロードマップとしてまとめたものの抜粋である。目標として最適生産を掲げ、製品精度、成形性、金型寿命等の向上と共にトレードオフの関係になりがちな最速生産の達成、保守としては自動故障診断や遠隔地でのリモートメンテナンス、弾性変形や熱変形の制御及び各種のシミュレーション技術と融合した高度知能化プレス成形による安定生産を目指している。

表 2.3.3.1 高度知能化プレス成形システムの個票 ^{2.3.1)} の抜粋 テーマ番号: I⑧

技術の概要	デジタル制御、インライン計測・補正技術、生産条件の最適化、シミュレーション技術との融合等の高機能な装置や制御を有するプレス成形システム。
現在の技術レベル	プレス成形システムは、素材の搬入、金型交換、プレス条件の設定等の自動化は進んでいる。課題は製品精度と金型寿命が両立した安定生産、サーボプレスの機能を最大限に生かす成形システムとコストパフォーマンス。
目標に到達するための技術開発内容(例)	1.サーボプレスや付帯装置の機能・精度の向上、機種拡大 2.最適生産(生産性と品質・金型寿命向上・省エネ等のコラボ技術) ・フレキシブルなスライドモーションと搬送タイミングの最適制御 ・素材、プレス、金型、製品の総合制御: フィードフォワード(FF)・フィードバック(FB)・リアルタイム(RT)制御 3.不良率 0 の適応制御 金型寿命予測、成形シミュレーションとプレスのインターフェース 4.高度ネットワーク化 自動診断、メンテナンスフリー

2.3.3.1 インサイチュウ(in situ)での計測機能を有する理想ライン

ネットシェイプ成形を実現するために、インサイチュウ(in situ)での最適な成形条件の設定や機器への適応制御、そして品質保証のための検査等、計測制御技術の重要性が益々高まっている。

表 2.3.3.2 は圧力やAEセンサを金型に組込んだ寿命予測、表 2.3.3.3 はインプロセスで製品の不良を感知して成形条件を補正する智能生産システムを示す。

表 2.3.3.2 知能金型技術による金型の寿命予測の個票^{2.3.1)}の抜粋 テーマ番号: II ⑦

技術の概要	金型内に圧力、亀裂及び温度センサを挿入して加工中の金型の変形、微視亀裂の発生を検知し、製品の品質保証、金型の補修時期、寿命を予測する重要技術である。
現在の技術レベル	研究レベルでは、各種センサを組み込んだ型での調査は行われているが実用事例はない。センシングとリアルタイムなフィードバック制御は圧延機で行われている。この方法をプレスに取り組むための基礎研究が必要である。
目標に到達するための技術開発内容(例)	1.圧力センサの開発:金型の面積と圧力の大小があるので各種金型に対応できるセンサの開発が必要になる。 2.亀裂センサ:AEセンサを主体にプレス用に開発。 3.制御技術:圧延機制御技術が使えるかどうか、サーボプレスで検討。

表 2.3.3.3 インプロセスでの智能生産システムの個票^{2.3.1)}の抜粋 テーマ番号: II ⑩

技術の概要	不良発生を検知できる加工要因を常時モニタリングし、異常を検知したら良品を作る条件へ、リアルタイムにインプロセスで加工条件を制御し、不良を作らない。制御困難な場合は機械を停止し、不良発生を未然に防止する生産システム。
現在の技術レベル	リアルタイムにインプロセスで加工条件を制御し、不良を作らないシステムは未確立。
目標に到達するための技術開発内容(例)	1.対象部品の選定と加工メカニズムの深掘り。要因抽出。 2.荷重計測等モニタリング技術の開発。 3.ストローク制御等、リアルタイムでの加工制御技術の開発。

2.3.3.2 計測データの活用方法

生産条件、製品データは、「製品品質の高度化・安定化（トレーサビリティを含む）」「設備の安定稼働」「予防保全」「工程能力の保証」「生産管理」の各々に活用される。

積極的な「予防保全」として自己診断機能がある。設備の稼働状況から消耗部品の交換を促す機能に加え、駆動部のベアリング部温度管理やAEセンサを活用して定常と異常状況の相違を感知する機能により重大事故の防止も可能になる。遠隔地からリモートコントロール機能はグローバル化にも対応する。特にグローバル化に対応して、世界各地の工場の一括データ管理により、垂直立ち上げや世界標準の品質管理に役立つ。

2.3.3.3 計測システム

図 2.3.3.2 はプレス機械における成形前に素材の硬度や金型温度を計測してダイハイトやクッション圧力を補正するフィードフォワード(F/F)制御、成形中の圧力や速度を計測してその場(インサイチュウ)で金型の作動を制御するリアルタイム制御、加工製品の寸法を測定して次の成形時にプレス条件を補正するフィードバック(F/B)制御の計測システムを示す。

高度知能化プレス成形は、適応制御が可能なインサイチュウのリアルタイム制御が重要になるが、加工製品のコストパフォーマンスを考慮して三つの制御方式が選択・組合され、金型を含めた成形システムの数値、モーション、圧力、温度等の成形条件を制御する。

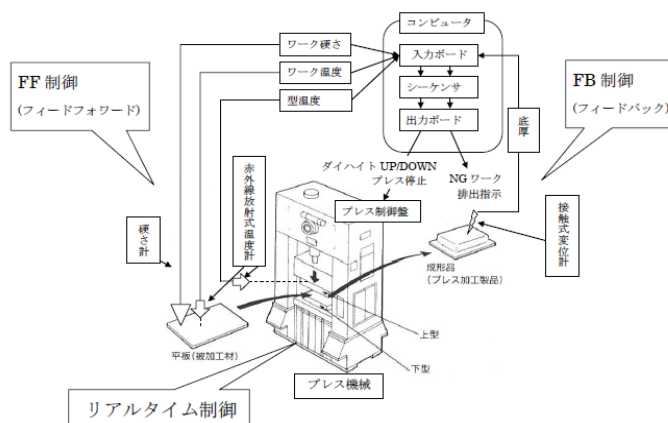


図 2.3.3.2 プレス機械における計測システム

2.3.3.4 個別センサ技術の方向性

プレス成形ラインのリアルタイム制御に用いられるセンサは振動・騒音・潤滑剤の飛散する悪環境の中で、短時間に計測・制御する必要がある。表2.3.3.4にプレス成形ラインの中核となる精緻な制御を必要とするサーボモータやセンサ類を示す。高分解能で応答速度が速く、特に金型に埋め込まれるセンサは振動に強くコンパクトな機器が必要になる。

表2.3.3.4 プレス成形ラインに必要な制御項目と対応する計測・制御機器

基本制御項目	計測・制御機器	成形仕様に関する制御項目
荷重(圧力)、速度、モーション、位置	ACサーボモータ コントローラ	プレスのスライド、付加作動装置の荷重、速度、モーション、位置等の作動精度
位置、平行度	エンコーダ	スライドモーションの作動精度
	リニアスケール	スライド、付加作動装置の作動精度
荷重、変位	歪ゲージ	プレス、金型の弾性変位の制御
温度	温度センサ	金型の熱変形による製品精度、軸受温度
振動	AEセンサ	プレス、金型の異常検出(定常時との差異)

2.3.3.5 シミュレーションとの融合成形システム

1) 成形条件の最適化

高度知能化プレス成形システムは、成形シミュレーションの活用、金型の成形状態のセンシング、成形製品の測定、これらの情報を統合・解析・可視化してプレスを含む作動装置の最適条件の設定と作動に反映する必要がある。

(1) プレス成形シミュレーション

有限要素法により、金型における素材の流動や応力・歪を解析してプレス加工時に生じる各種の加工不良、形状及び寸法精度不良、金型寿命を予測する。

特に歪速度による成形性を評価するシミュレーションは重要になる。

(2) 金型の知能化

圧力、歪、温度、位置、AEセンサ等を組み込み、変形、発熱、振動を計測して金型における成形や作動状況、更に亀裂等の金型寿命を管理・制御する。

(3) プレス・成形装置のデジタル化

成形装置はサーボ化により成形条件をデジタル化し、生産性と成形性・金型寿命等の最適化を行う。

表 2.3.3.5 は シミュレーション技術と知能金型技術を融合させたプレス加工の知能化のロードマップの抜粋を示す。

表 2.3.3.5 シミュレーション技術と知能金型技術を融合させたプレス加工の知能化の個票^{2.3.1)}の抜粋
テーマ番号: II ①

技術の概要	サーボプレスの中に、材料の流れを検知・制御する機能を有する金型を組み込む。材料の最適な流れを成形シミュレーションにより事前予測し、所与の部品形状に対して最適な材料流動が実現されるように、サーボプレスの運動と知能金型の機構を制御する。これにより、最適加工条件の探索容易化、不良率低減、ばらつき低減、部品寸法の高精度化が達成される。究極のプレス技術である。
現在の技術レベル	シミュレーション技術はある程度高度化され、サーボプレスも普及し始めているが、両者の融合はできていない。又、材料挙動をセンシングし、その情報をフィードバックしてプレス機械を制御する手法も確立されていない。
目標に到達するための技術開発内容(例)	<ul style="list-style-type: none"> ・より高精度なシミュレーションソフトウェアの開発 ・高強度鋼板、アルミ合金、チタン合金、マグネシウム合金の高精度な材料モデルの構築 ・金型内に組み込む各種センサの開発 ・金型を知能化するためのメカニズム(機構)の開発 ・シミュレーション結果をセンサの測定値と融合させ、リアルタイムでサーボプレスをフィードバック制御するためのインターフェースの開発

2) 生産速度の最適化

最高の生産速度で加工を行うために、金型との干渉を避けるプレス・ダイクッション等と搬送装置の作動タイミングの最適化も極めて重要になり、生産支援シミュレーションが必要になる。

3) 環境負荷の最適化

装置のコンパクト化、金型寿命の向上による省資源化、サーボ化回生エネルギーによる省エネルギー化、省潤滑剤供給システムによる環境保全等による環境負荷低減の技術も重要である。

シミュレーションと融合した高度知能化プレス成形ラインは、成形性、生産性、環境負荷低減の全体最適化を目指す。

引用文献

2.3.1) 経済産業省：素形材技術戦略 2008, 135-187, ダウンロードサイト

http://sokeizai.or.jp/japanese/topics/topics/image/090417_senryaku_shishin.pdf

第3章 素形材に係る計測に関する技術開発テーマの抽出

調査に基づき、素形材分野での提案テーマを以下の通りまとめた。

	【研究開発テーマ名】	【研究開発目的】	【研究開発内容】
鋳造	インライン超高速3次元寸法、形状測定（鋳型、鋳物）	鋳造では、インラインで製造管理のための計測や補正が行われて連続的に作業が進められているが、製品や鋳型の検査に時間がかかって律速となっている。製品や鋳型等の計測時間を短くするために、超高速の計測技術の開発を行う。	インラインにて3次元で鋳造品の寸法、形状等が定量的に容易且つ高速・高精度に計測できる技術及び装置を開発する。3D製品図、鋳型図との対応ができ、管理値との合否判定ができ、且つ、不合格品をラインオフでき、トレーサビリティがとれるシステム。
	インライン非破壊超高速内部透視システム（鋳物）	鋳物内部構造を検査する方法としてX線検査がある。しかし、X線検査は設備や規制の関係でインラインでは使いにくい。そのため、インラインでX線以外の鋳物内部計測システムの開発を行う。	少量多品種に対応しインラインで鋳物内部の透視ができ、設備管理や取り扱いに規制が少ない装置を開発する。3D製品図、鋳型図との対応ができ、管理値との合否判定ができ、且つ、不合格品をラインオフでき、トレーサビリティがとれるシステム。
	非研削非破壊鋳物内部構造（金属組織・介在物等）評価装置	鋳造では、検査・計測に時間がかかっている。鋳物の組織・介在物等の検査工程では、鋳物から試料を切り出し、研削—研磨を行う作業に多くの時間を要している。計測時間を短くするため、研削等の作業を行わずに金属組織等を観察できるシステムを構築する。	研削等を行わずに短時間で金属組織、黒鉛組織（形状、粒度、面積率等）、結晶粒度、機械的性質（引張強さ、硬さ等）が全て計測できるシステム。
	計測技術の高度化による高品質アルミ鋳物	鋳造方案は熟練技術者の勘と経験（暗黙値）に頼った試行錯誤的な手法が多く行われ、又、型の修正にコストと労力が費やされている。IT及び鋳造シミュレーション等により鋳造方案を短時間で策定する開発が必要である。	<ul style="list-style-type: none"> ・鋳造シミュレーションの高度化 ・鋳造方案の自動設計 テンプレート化 ・CCDカメラによる寸法、形状を測定
	インライン計測技術を利用したトレーサビリティシステム	インライン計測データを使って、フィードフォワードコントロールにより鋳物品質の安定化、金型・鋳造設備の安定稼動（予防保全）が図れ、効率が向上する。トレーサビリティシステムを使いその機能を構築する。	<ul style="list-style-type: none"> ・科学的手法による良否判定ができるトレーサビリティシステムの開発 ・計測データのマイニング

	【研究開発テーマ名】	【研究開発目的】	【研究開発内容】
鋳造	鋳造金型の温度計測	鋳造金型温度異常は鋳物品質に直結するだけでなく、生産性、寸法、金型寿命等を悪くすることが多い。そのため、鋳造中の金型温度を正確に管理するため正確に計測する必要がある。	インラインで生産中の金型温度を正確に計測 ・サーモグラフィによる金型表面温度計測
鍛造	鍛造金型の温度計測	鍛造金型の温度は型寿命や製品寸法・製品品質に影響する重要な因子であり、その管理は重要である。そのため型温を正確に常時監視するシステム構築が必要となっている。	・高精度／高安定な赤外線サーモグラフィシステムの開発 ・簡便にセッティング可能な熱電対、もしくは熱電対代替技術の開発
	潤滑ノズル毎の潤滑量計測	潤滑液吹付で局所的な吐出ムラが生じると型摩耗やカジリが発生する。欠陥を防止するために均一な潤滑膜を形成するシステムを開発する。	・超小型&安価な流量センサの開発 ・気泡やスラッジ等の誤差要因に強い計測法の開発（ノズルに近いほどエア噛みが多い）
	潤滑膜厚計測	潤滑膜厚異常は、型磨耗過大による型の低寿命化や製品の金型への張り付き等の可動障害に直結する。型磨耗の抑制と製品の健全性維持のため、潤滑膜厚の計測と数値管理システムを構築する。	・R部や曲面上の膜厚分布が計測可能な手法の開発 ・粗面上の膜厚を測る手法の開発 ・稼働中にインラインで計測可能な手法の開発
	鍛造欠陥の自動計測	鍛造品のあばた、シロ傷、欠肉等の外観検査は人的作業となっており、記録が残しにくいことやコストが問題となっている。外観検査の自動化システムを構築し、そのデータを基に欠陥発生防止にフィードバックする。	・画像処理/音響/形状計測等を融合させた統合検査システムの開発 ・より人間に近い画像処理 欠陥検出&良否判別アルゴリズムの開発 ・汎用ロボット等を活用した高速ワークハンドリング技術の開発 ・超高速形状計測技術の開発
	鍛造中の材料流動、製品の温度分布	鍛造中の材料流動や製品の温度分布は、鍛造条件の変化や金型摩耗等の影響により発生する欠陥に影響する。欠陥発生を予測するために、材料流動及び材料温度を計測する。	・鍛造中の材料流動状態の可視化 ・鍛造中の製品の温度分布の可視化
プレス	高精度マイクロプレス成形のための金型内センシングシステムの構築	高精度プレス加工機械、微細金型加工技術の確立と同時に加工プロセスの高精度化のため、マイクロ材料プレス成形の金型内での素材矯正、順送プレス成形及び組立用のマイクロセンサの開発及びこれらのセンシング情報の統合処理システムを構築する。	・表面処理した金型の摩耗特性等のモニタリングシステム ・小型 CCD カメラ、高精度板厚センサ等による金属薄材インプロセス矯正のための板厚ばらつき、表面粗さ、平坦度等のセンシング・評価システム ・金型内精密組立てのための素材位置決めセンシング制御システム

	【研究開発テーマ名】	【研究開発目的】	【研究開発内容】
プレス	高度デジタルプレス成形技術のための知能化金型システムの構築	成形加工プロセスについては軽量化加工、超高速加工、資源・エネルギーの最小化加工等が求められている。それを実現するために、材料組成、加工プロセス、デジタル硬度計測・制御技術をデジタル技術で融合化するシステムを開発する。	<ul style="list-style-type: none"> ・センシング機能を金型表面に形成し、加工中の材料との接触状態や応力分布をセンシング可能な金型内蔵材料変形モニタリングの創成 ・センサ情報を統合的に処理し、加工中の材料の変形状態を可視化のための知的センシングシステムの開発 ・デジタルプレス機械と融合するにより、高精度化、プロセスの複合化、省エネ加工が可能な知的データベース構築
	塑性加工における、トランスフォーム計装化金型に関する研究	成形が安定するまでの時間を最小限にするため金型の予備加熱を行う。それでも時間を要する場合があり、それを短縮したい。そのため、インサイチューで温度圧力等の情報を金型含む成形条件にフィードバックし最短で定常成形できるシステムを開発する。	<ul style="list-style-type: none"> ・金型の成形中の変化の迅速計測と金型形状変更技術 ・成形中の素材温度等の計測技術の開発 ・金型形状の成形プロセス内変更の技術の開発 ・成形条件の変化と不具合との関係の形式知化の開発 ・不具合回避のための金型形状変更規則の確立
	金型製造段階(CAM領域)の高度計測技術開発	新車開発の金型開発段階では、金型用鋳物の成形及び成形時の計使用計測に時間を要している。その迅速化を行う。	<ul style="list-style-type: none"> ・製品形状と取りしるを含んだ鋳物形状との差の予測技術の開発 ・エアーカットを究極まで削減する金型加工切削動作予測技術の開発 ・切削加工時の鋳物形状の切削作動へのリアルタイムフィードバック技術の開発
	トライアウト段階の高度計測技術開発	トライアウト段階では、試験成形後の形状計測と再成形に時間を要している。その迅速化を行う。	<ul style="list-style-type: none"> ・量産段階へ迅速につなげるため、計測時間そのものの圧倒的短縮化と最適金型データ反映手法の確立。 ・測定後瞬時に基準データとの差異、改修量が算出できる仕組み造り
	車1台 複合解析保障	新車のパネル開発では、各コンポーネントの開発後に組み上げ車体(ホワイトボディ)での開発が行われる。各コンポーネントの開発とホワイトボディの開発を同時に行うシステムを確立する。	<ul style="list-style-type: none"> ・プレス部品を組み上げたホワイトボディの複合品質解析技術の確立 ・プレス単品組み付け前後の3次元高速高精度測定技術 ・内板骨格部品と外板デザイン部品組み付けプロセス毎の高速高精度測定技術 ・プレス単品又はコンポーネントへのフィードバック技術
	リサイクル材を含む難加工材に対応する高度知能化プレス成形システムの開発	環境負荷低減のためリサイクル材等の難加工材加工のプレス成形システムが注目されている。難加工材を成形できるようにするため、プレス装置では金型の精度向上と寿命向上及び制御システムの高度化が必要である。	<ul style="list-style-type: none"> ・知能化金型の開発 ・統合制御された成形システムの開発

4 調査研究の今後の課題及び展開

素形材分野の鋳造、鍛造及び金属プレスについて計測技術の現状と将来像について調査を行い、その結果を基に研究開発テーマの抽出を行った。

調査では、計測の対象となったのは製品の品質保証と製造ラインの工程管理である。品質保証の計測は、原材料の管理や製品の性能確認であり、一方、工程管理の計測は、製造条件の管理及び故障防止の予防保全等が挙げられる。

現状について、鋳鉄生型鋳造では、製造ラインでは問題点として鋳造方案のCAE解析と製品の品質検査計測に時間を要していることが挙げられた。アルミ重力鋳造では、金型の温度管理や塗型の膜計測や自動化が課題である。熱間鍛造では、問題点として短いサイクルタイム(高速生産)や高温・高スラッジの劣悪環境のため希望通りの計測ができないことが挙げられている。金属プレスの微細部品では、現在は製品検査程度である。自動車パネル部品では、新車開発の金型製造、トライアウト、量産段階における問題点として金型やパネルの3D非接触計測が長時間であることやデータがスムーズに反映できないことである。プレス機械では、位置計測の高精度化が課題として挙げられた。

トレーサビリティについては、製造分野では必要性を認識しているが、コストの問題がある。熟練技術者のノウハウは、現状、製造に欠かせないものであり、その重要性は認識されているが、その自動化への取り込みはいまだ進んでいない。

又、将来像について「素形材技術戦略2008」の結果も参考に検討を行った。将来像としては、鋳鉄生型鋳造では、品質安定、設備安定稼働及び予防保全等のために計測データの一元管理が重要である。アルミ重力鋳造では、鋳鉄と同様にラインの一元管理の点からトレーサビリティに主眼を置いたシステムに着目している。熱間鍛造では、①製品の品質を全数保証することと②生産をノンストップで継続することを掲げている。金属プレスの微細部品では、金型にセンシング機能を付与し、インラインでプレス加工時のデータをフィードバックするシステムが提案されている。自動車パネル部品では、生産のグローバル化に対応した新車開発の迅速化や製品パネル検査の計測の高度化が求められた。プレス機械では、フィードフォワード、フィードバック、リアル制御の制御システムの高度化が必要とされた。

将来像を基に、18件の提案を抽出した。金型を使用する製造プロセスでは金型の保全及び金型にセンサをつける高度化に関するもの、製品検査の高速化及び新車開発の計測やフィードバックによる迅速化等について提案された。

今回の調査研究は、鋳造、鍛造、金属プレス等の素形材メーカーが計測技術のユーザとして計測技術の高度化について検討したもので、ニーズ側からの要望について検討が行われた。今後はセンサメーカー、計測機メーカー等のシーズ側の現状についても調査し、計測システムや個別センサの情報を含めた提案をまとめていく。得られた成果を基に「計測技術の高度化プロジェクト」を立ち上げて、素形材分野の発展に寄与する。

システム技術開発調査研究 22-R-2

ものづくり計測技術の高度化に関する調査研究
(要旨)

平成 23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28号 TEL 03-3454-1311
委託先名	財団法人 素形材センター 東京都港区芝公園三丁目5番8号 TEL 03-3434-3907