システム開発
１８－Ｆ－４

発泡樹脂成形用金型交換システムの開発に関するフィージビリティスタディ
報　　告　　書

- 要　旨 -

平成１９年３月

財団法人　機械システム振興協会

委託先　財団法人　素形材センター

KEIRIN

この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。
URL：http://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、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：政策研究院 リサーチフェロー藤正 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「発泡樹脂成形用金型交換システムの開発に関するフィージビリティスタディ」は、上記事業の一環として、当協会が財団法人素形材センターに委託し、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あります。

平成１９年３月

財団法人 機械システム振興協会

はじめに

我が国製造業は、長い停滞を抜けて堅調な回復傾向を示していますが、国際競争がますます激化する中で、引き続き厳しい経営環境を強いられています。

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、機械産業を中心とする我が国の経済発展に大きく貢献してまいりましたが、今まで以上にその重要性が増大すると考えられます。

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、ユーザニーズの多様化に呼応して、高品質で安価な素形材製品を安定的に供給するため、技術力を涵養し、プロセス革新、IT 化の促進、新材料に関連する技術開発を進めるとともに、生産性向上、技術・技能の継承、リサイクル・省エネルギー等の諸課題にも更に積極的に対応し、素形材産業の技術基盤を強化する必要があります。

このような観点に立って、財団法人素形材センターでは、本年度、財団法人機械システム振興協会から「発泡樹脂成形用金型交換システムの開発に関するフィージビリティスタディ」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「発泡樹脂成形用金型交換システム開発委員会(委員長　東京大学中川威雄名誉教授)」を設置し、事業を推進してきました。本報告書は、このフィージビリティスタディの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あたり、ご指導・ご援助をいただいた経済産業省および財団法人機械システム振興協会に深く感謝の意を表しますとともに、中川委員長をはじめとする委員及び協力者、並びに試作機開発を担当したDAISEN 株式会社に対し、厚く御礼申し上げます。

本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１９年３月

財団法人　素形材センター

目　　次

序

はじめに

1 スタディの目的 ---------- 1

2 スタディの実施体制 ---------- 2

3 スタディの内容 ---------- 4

3.1　発泡樹脂成形用金型の自動交換システムの概念設計 ---------- 4

3.1.1　従来の金型交換方法 ---------- 4

3.1.2　本スタディでの金型自動交換システムの概念設計 ---------- 6

3.2　発泡樹脂成形用金型の脱着機構の設計 ---------- 6

3.2.1　ワンタッチ用役接続構造 ---------- 8

3.2.2　金型マスタフレームの脱着機構 ---------- 17

3.2.3　型の開閉ストロークの調整機構を有する電動駆動の開閉装置 ---------- 22

3.2.4　発泡粒子原料の切り替え接続 ---------- 24

3.2.5　取り出しピンの装着・接続 ---------- 26

3.2.6　金型搬送装置 ---------- 28

3.3　金型交換装置の試作と評価 ---------- 31

3.3.1　ワンタッチ用役接続構造 ---------- 31

3.3.2　金型マスタフレームの脱着機構 ---------- 34

3.3.3　型の開閉ストロークの調整機構を有する電動駆動の開閉装置 ---------- 34

3.3.4　発泡粒子原料の切り替え接続 ---------- 35

3.3.5　取り出しピンの装着・接続 ---------- 35

3.3.6　金型搬送装置 ---------- 35

3.3.7　システム全体 ---------- 35

3.3.8　シングル段取りに向けての高度化 ---------- 54

3.4　まとめ ---------- 56

4 スタディの今後の課題及び展開 ---------- 57

１　スタディの目的

ポリスチレン等のビーズ発泡樹脂原料を予備発泡して、金型内で蒸気により融着して成形する発泡樹脂成形品は、従来、高い精度を要求されない分野での大量生産品に活用されてきたが、①軽量、省資源、断熱効果等を利用した自動車部品や電気製品などの機能部品の分野での用途拡大が有望視されている。更に、②高精度鋳物の製造方法として高い将来性を有するロストフォーム鋳造法で使用する消失模型(専ら発泡樹脂製)の成形にも活用が見込まれている。このように、従来に比べ格段に広範な機械分野での、大量生産のみならず多種少量生産も含めた活用が期待されている。

発泡樹脂成形には、蒸気、冷却水を使用する特殊な構造の金型を使用する。すなわち、熱伝導が良いアルミ鋳物製の構造体(マスターフレーム)と成形品の形状を成形するインサイド金型から構成される。樹脂を効率的に一様に発泡させ成形するために、蒸気を金型内に一様に吹き込み加温し、また冷却水を金型に一様に吹きつけ顕熱冷却及び真空による気化冷却を行う各種の配管が備わっている。

この発泡樹脂成形用金型は、一般的な多数個取り（４個から１０個程度)の場合、100kgから500kgの重量があり、複雑な構造を有する金型の交換には２、３人掛りで、段取りのダウンタイムが短いものでも約３０分（長い場合は約３．５時間）を要する。多種少量生産は、成形段取りに実成形より長い時間を要し、その分、人件費が掛かるため、コスト的に合わないとされてきた。これらのことから、発泡樹脂成形は、形状自由度が高く、軽量化ニーズにも応えられる成形方法であるにも拘らず、用途範囲が限定されてきた。

また、直接部品・製品として用いる発泡樹脂成形品とは別に、ロストフォーム鋳造法で使用される発泡樹脂製消失模型については、従来、発泡樹脂製ブロックを切削加工で製作するものが多く、多数の模型を製作する場合、時間を要することが問題であり、用途も比較的限られていた。消失模型を金型を用いて直接発泡成形させる方法は、従来の発泡成形法では精度が確保できず、通常の機械部品には適用できなかった。

しかし、最近、高精度の発泡樹脂成形が可能な技術が、中小企業基盤整備機構が実施した「戦略的基盤強化技術開発事業」の一つとして素形材センターが受託した「ロストフォーム法による鋳鉄の遷移制御セミソリッド鋳造法及びロストフォーム用金型技術に関する研究開発」（機械システム振興協会から受託して実施した「平成１４年度高融点金属のセミソリッド鋳造法の開発に関する調査研究」において提案された技術テーマを実施したもの）で開発された。これにより、発泡樹脂模型によるロストフォーム鋳造の利用の拡大が大いに期待されており、ユーザー業界からの引合い、問合せが多い。しかし、上述と同じく、金型交換の段取りの問題があって、カンバン方式、多品種生産への対応が難しく、高精度機械部品への用途拡大に制約が生じている。

高精度機械部品の短納期での高効率生産を実現して、カンバン方式での部品供給を要求するユーザーに応え、さらには多品種生産をも可能にするためには、金型交換及び成形調整の省人化、短時間化を進めることが急務である。①発泡樹脂成形品自体の

生産の効率化と②ロストフォーム鋳造法の鋳造品の高精度化により、発泡樹脂の用途を拡大し、各種機械部品等の品質向上や原価低減を図ることは、日本の基幹産業の自動車産業等機械産業の発展に寄与するものである。

そこで、発泡樹脂成形用金型の交換を安全、確実、容易にして人員と時間を大幅に削減可能な、金型自動交換システムの開発についてフィージビリティスタディを実施する。

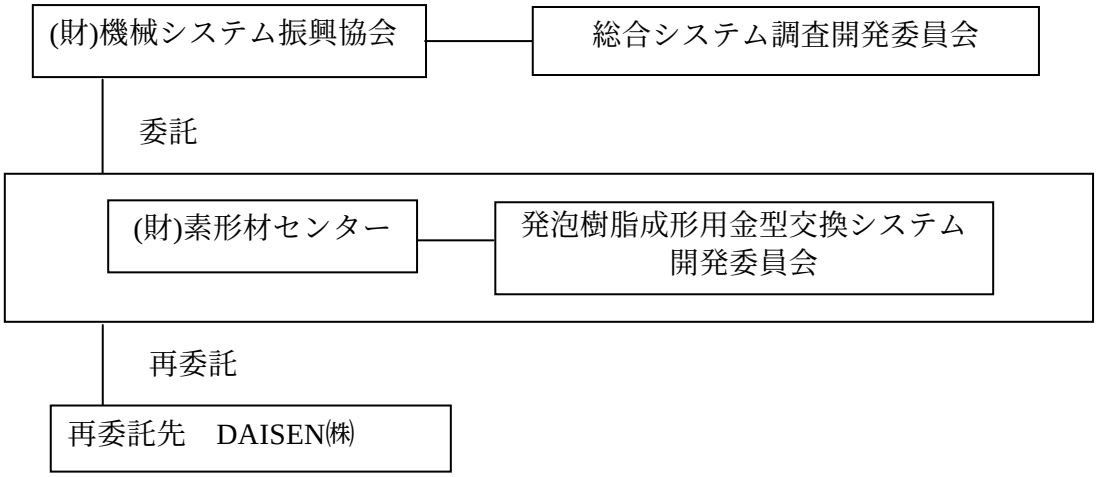
２　スタディの実施体制

(１) 実施体制(委員会の設置等)

本フィージビリティスタディ(以下スタディという)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「(３)委員会構成」の①のとおり)」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。

さらに、(財)素形材センター内に学識経験者、専門技術者(発泡樹脂成形メーカー、発泡樹脂成形用金型・成形機メーカー)からなる委員会を設置し、計画の立案、検討審議及び結果の評価等を行い、その決定に基づき事業を推進し、この活動から得られた成果を報告書にまとめた。

なお、具体的なスタディの遂行は、素形材センター及び再委託先である DAISEN㈱等がテーマを分担し実施した。



(２) 業務分担

1) (財)素形材センター

分担内容：(1) 発泡樹脂成形用金型の自動交換システムの概念設計

(2) 発泡樹脂成形用金型の脱着機構の設計

(3) 金型交換装置の評価

2) 再委託先；DAISEN㈱

分担内容：金型交換装置の試作

(3) 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発泡樹脂成形用金型交換システム開発委員会の委員構成は、以下のとおりである。

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　政策研究院リサーチフェロー
委　員　太田　公廣　埼玉大学地域共同研究センター　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　副研究部門長
〃　　志村　洋文　独立行政法人産業技術総合研究所　産学官連携部門
　　コーディネータ
〃　　中島　一郎　東北大学未来科学技術共同研究センター　センター長
〃　　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　助教授
〃　　大和　裕幸　東京大学大学院　新領域創成科学研究科　教授

② 発泡樹脂成形用金型交換システム開発委員会

委員長　中川　威雄　東京大学名誉教授
委　員　高橋　道郎　中部大学経営情報学部 経営情報学科　教授
〃　　塚本　順夫　大藤㈱　代表取締役社長
〃　　渡辺　義見　名古屋工業大学大学院 工学研究科　教授
ｵﾌﾞｻﾞｰﾊﾞ　幸脇　盛治　DAISEN㈱　副社長
　　林　　彰　DAISEN㈱　専務取締役
　　津田　彰彦　DAISEN㈱　技術本部長
　　阿部　容久　経済産業省製造産業局素形材産業室　技術三係長
事務局　荻布真十郎　財団法人素形材センター　専務理事
〃　　笹谷　純子　財団法人素形材センター　技術部長
〃　　浅賀　俊輔　財団法人素形材センター技術部　主任

(4) 実施日程

年月 / 項目	18年							19年		
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
①金型自動交換システムの概念設計	→	→	→	→						
②金型の脱着機構の設計		→	→	→	→					
③金型交換装置の試作			→	→	→	→	→	→		
④金型交換装置の評価						→	→	→		
⑤報告書の作成								→	→	

３．スタディの要約

３.１　発泡樹脂成形用金型の自動交換システムの概念設計

３.１.１　従来の金型交換方法

発泡樹脂成形用金型を成形機に装着する手順は次のとおりである。

① 発泡樹脂を成形する移動型の凸金型(写真３－１)と固定型の凹金型(写真３－２)(以降、インサイド金型という)を準備。

写真３－１　凸金型

写真３－２　凹金型

② 写真３－３で示すように、成形するための蒸気、冷却水、排水の各用役接続を装備する金型の取り付け枠(以降、マスタフレームという)に、充填器と取出ピンの前シャフトが装着されているインサイド金型を取り付ける。

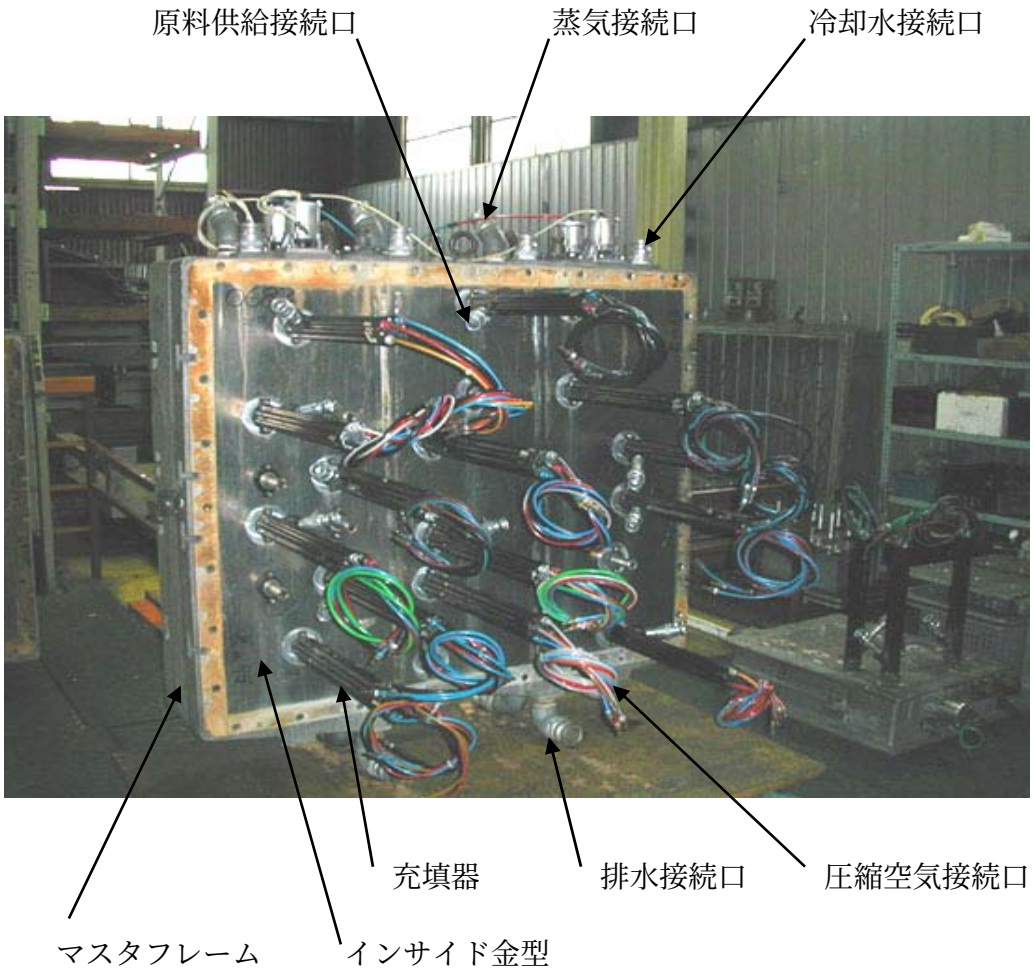


写真３－３　インサイド金型をマスタフレームに装着した状態

③ この金型をクレーンで吊って、成形機の金型取付面の所に搬送する。

④ ダイプレートに固定する松葉クランプのボルトを締めて、金型を成形機に装着する。

⑤ ４種の用役用のホース合計10数本を金型に接続する。

⑥ 固定型に取り付けられている数本から10数本の充填器に、原料供給用のホースと圧縮空気用のホースを接続する。

⑦ 成形品を離型するための10数本の取出ピンの後シャフトを前シャフトに接続し、更に成形機のイジェクト板に接続する。

成形機から取り外す手順はこの逆の⑦→⑥→⑤→④→③→②→①となる。

３.１.２　本スタディでの金型自動交換システムの概念設計

発泡樹脂成形用金型のワンタッチ交換方式等、容易に脱着し交換可能なシステム全体の概念設計をした。すなわち、予め共通マスタフレームにインサイド金型を装着した金型の成形機への脱着機構を検討した。

３.２　発泡樹脂成形用金型の脱着機構の設計

発泡樹脂成形用金型は、用役配管がなされているマスタフレームと、形状成形に直接関与するインサイド金型からなっている。このインサイド金型をマスタフレームに取り付けた後、成形機に金型を装着するが、この金型交換に要する時間と人員の工程全体の中に占める割合が大きい。一般的な多数個取り（４個から10個程度）金型の場合、100kgから500kgの重量があり、複雑な構造を有する金型の交換には、２、３人掛かりで、短いものでも約30分、長い場合は約３．５時間を要する。

そこで、現状の発泡樹脂成形用金型の交換における問題点を抽出し、交換におけるダウンタイムの短縮、省人化を可能にする金型脱着機構について、検討した。すなわち、金型交換に要する人員、時間を１人、10分程度とすることを目指し、用役配管のワンタッチ接続構造、金型の脱着機構、金型の搬送機構等について設計を行った。

図３－１に本スタディで採用した金型交換装置を示す。

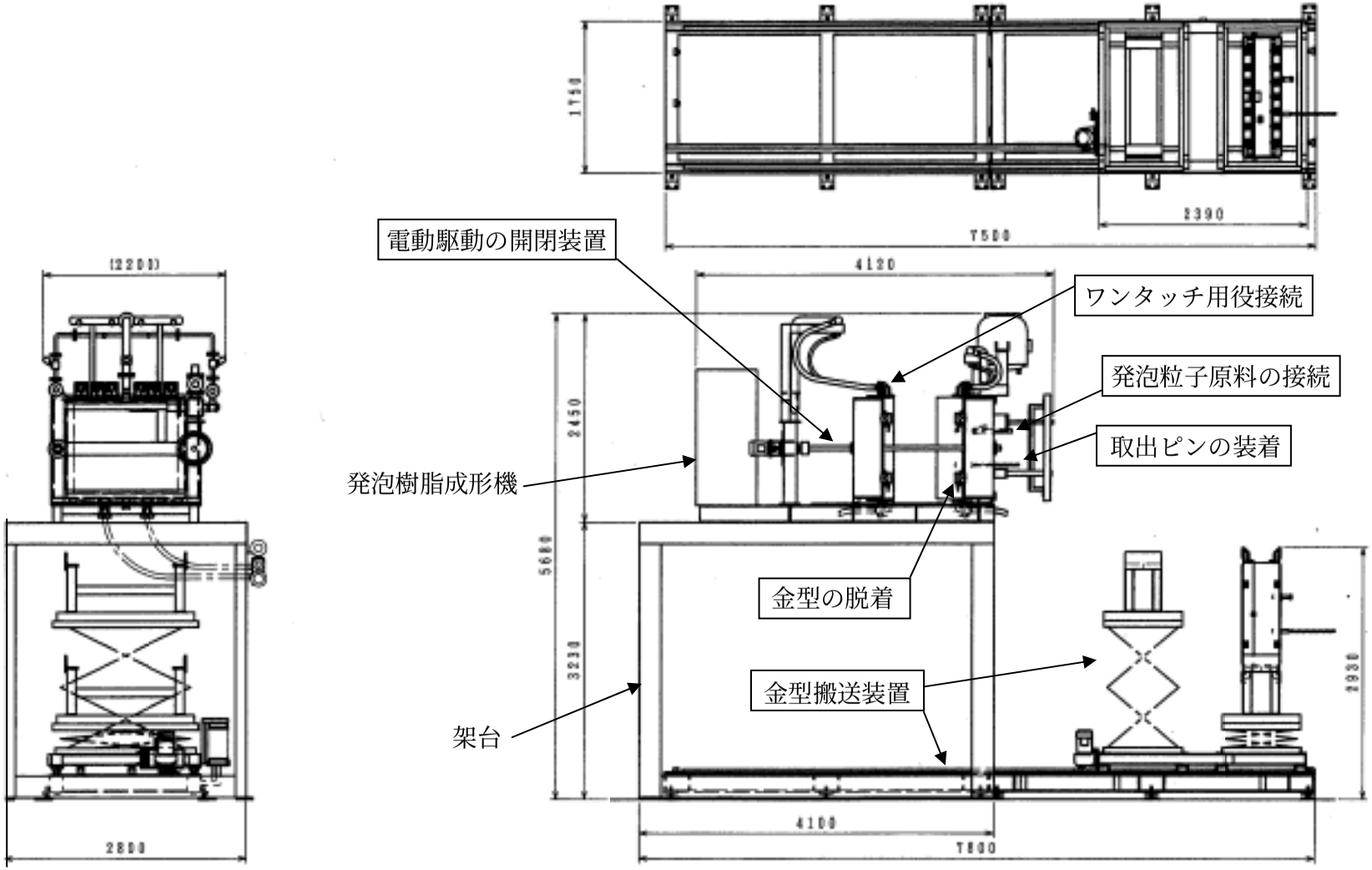


図３－１　金型交換装置の全体図

３.２.１ ワンタッチ用役接続構造

３.２.１.１ 従来の接続方法

発泡成形工程は、充填工程→加熱工程→冷却工程→離型工程からなり、金型及び成形機には蒸気、冷却水、排水のための用役接続が必要で、多くの配管が複雑に入り組んでいる。金型交換の都度、金型交換作業者は成形機の上部に上ったり下部へ潜ったりして耐熱ゴムホースを脱着しており、多大な時間を費やしているのが現状である。

写真３－４で示すように、作業者が成形機の上部に上り、蒸気と冷却水の用役配管のホース約10本を脱着している。これらの作業は時間を浪費するだけでなく、高所であること、作業スペースが狭いこと、及び配管が高温のため火傷の危険があること等、作業者の身体の安全性にも問題がある。更に、金型の下部に潜り、排水用のホース約４本の脱着も行わなければならない。

写真３－４　成形機上部での配管脱着作業

３.２.１.２ 本スタディでの接続方法

ワンタッチ用役接続部の構造を図３－２に示す。この図は金型上部数か所の用役接続のうちの１か所の詳細構造で、他の箇所、下部も同様であり、固定型及び移動型とも同等である。図３－３に固定プレートに装着された金型の全体を示す。移動プレートには冷却水Ｂはない。図３－３は金型とダイプレートが接触している状態を示しており、図３－４は金型とダイプレートが接触していない状態を表す。

ダイプレートの上面にワンタッチ用役接続用のブロックＰが、金型の上面にワンタッチ用役接続用のブロックＤが取り付けられており、金型上面の調整ボルトによりブロックＤは前後に移動可能である。図３－２のように金型がダイプレートに装着されている時は、ブロックＰとブロックＤの合わせ面の隙間が 0.5mm になるように調整ボルトで位置決めしておくことを基本とする。これは、Ｏリングと特殊パッキンの潰し代に 0.5mm の余裕を持たせていることを意味する。特殊パッキンは、圧縮空気を中に入れることによって膨らんで相手面に押し付けられ、圧力流体をシールするものであり、金型をダイプレートに装着後に膨らませる。

ワンタッチ用役接続方法は次のとおりである。

① 金型を成形機に装着する前は、図３－４で示すように金型とダイプレートが離れており、金型とダイプレートそれぞれに、ブロックＤとブロックＰが取り付けられている。

② 図３－３で示すように金型がダイプレートに装着されると、ブロックＤとブロックＰが 0.5mm の隙間を持って合わさり、Ｏリングが潰される。

③ 更に、特殊パッキンに圧縮空気を入れて膨らませ、特殊パッキンがブロックＤに押し付けられる。

④ このようにして、Ｏリングと特殊パッキンの２か所で、蒸気、冷却水、排水の圧力流体のシールが完成する。

金型を成形機から取り外す時は、まず、特殊パッキンの空気を抜いてから、金型をダイプレートから切り離すことになる。

Ｏリングと特殊パッキンを二重に使用している理由は、次のとおりである。金型をダイプレートに装着する時、金型とダイプレートが擦れ合うことがあり、ブロックＰから出っ張っているＯリングがブロックＤとの擦れ合いにより損傷することが考えられる。もし損傷した場合でも、外側の特殊パッキンにより圧力流体のリークを防止するためである。特殊パッキンは、金型をダイプレートに装着する時には中に圧縮空気を入れていないために出っ張っておらず、相手面との擦れによる損傷を心配しなくてよい。では、何故、特殊パッキンだけにしないかというと、特殊パッキンが非常に高価であるためにＯリングだけにしたいが、実績による検証が必要であるため、両方のパッキンを装着し、Ｏリングの損傷がないと判断できるまで、今後、追跡していくためである。

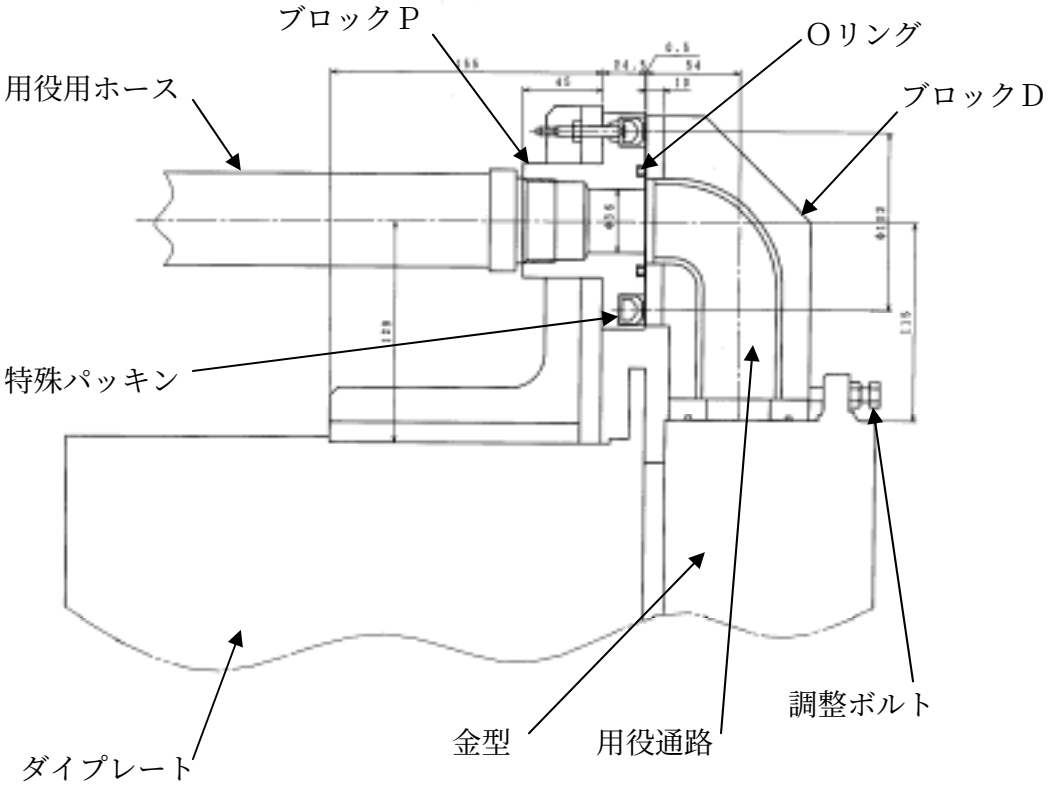


図３－２　金型上部におけるワンタッチ用役接続構造詳細

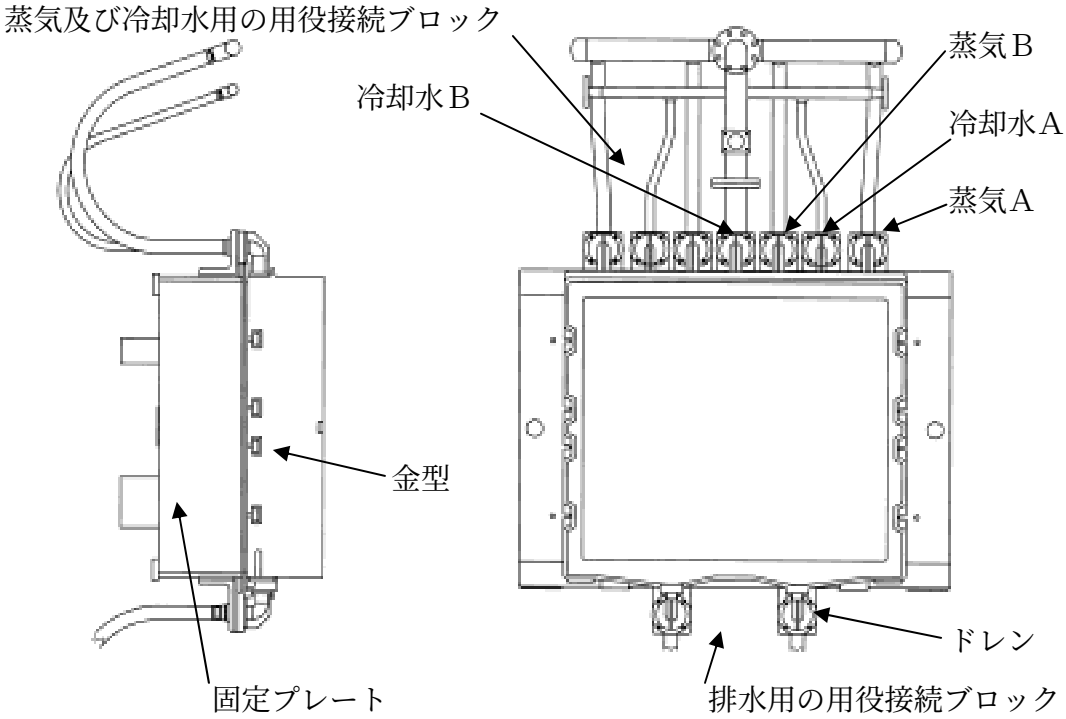


図３－３　金型への用役接続ブロックの配置

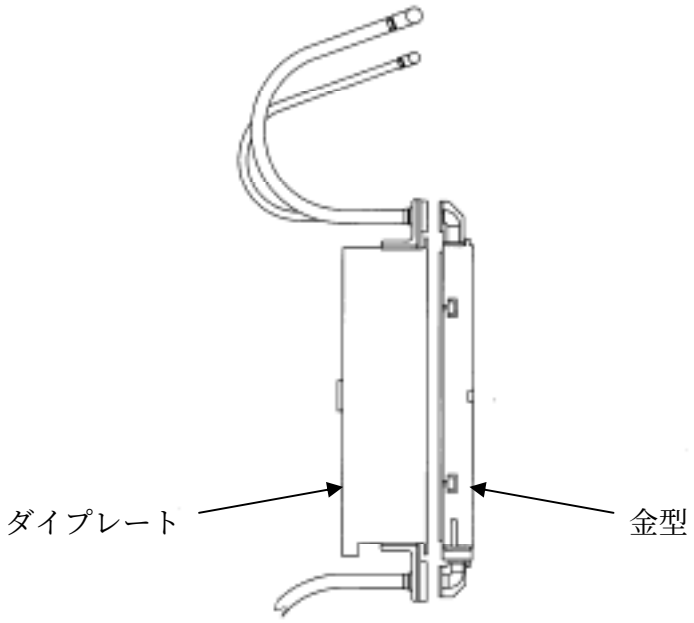


図３－４　金型とダイプレートが離れている状態

3.2.1.3 有限要素法による解析

ワンタッチ用役接続用のブロックＰとＤが、型締力、金型内の蒸気圧、ブロック部の流体圧、熱によりどのように変形し、Ｏリングと特殊パッキンがシール性を保てるかを、有限要素法による市販のソフト※1を使用して解析した。

① 固定プレートの方が移動プレートより変形が大きいので、固定プレートの解析結果を示す。

② ブロックＰとＤの配置、金型、ダイプレートは、機械の中心に対して左右対称であるので、片側だけの解析とした。

③ これらのブロックは変形の違いを含めて、解析12に示す“蒸気Ａ”、“蒸気Ｂ”、“冷却水Ａ”、“冷却水Ｂ”、“ドレン”の５種類となるので、解析結果もその５種類を示す。

④ ブロックＰには、Ｏリングと特殊パッキンを二重に使用しているが、流体圧がＯリングの内側に作用する場合と特殊パッキンの内側に作用する場合の両方の解析を行った。

⑤ 解析は１から33まで行い、その解析結果を表３－２に示すが、解析データとしてはそのうちの解析12、13、14、17、18を示す。解析条件を表３－１に示し、型締力等の条件は次のとおりで、型締力以外は考えられる最大の値を使用し、最

悪条件で設計を行った。

荷重条件　型締力：24ton

圧力条件　金型内蒸気圧：0.15MPa

ブロックの蒸気ＡとＢ部の蒸気圧：0.15MPa

ブロックの冷却水ＡとＢ部の水圧：0.15MPa

ブロックのドレン部の蒸気或いは水圧：0.15MPa

温度条件　ブロックの蒸気Ａ、蒸気Ｂ、ドレンの内面：120℃

ブロックの冷却水Ａ、冷却水Ｂの内面：25℃

フレームの外面：100℃

固定プレートの金型取付面：65℃

固定プレートの金型取付面と反対側：45℃

移動プレートの金型取付面：75℃

移動プレートの金型取付面と反対側：35℃

⑥ 表３－２の、Ｏリング部と特殊パッキン部の“変形量”は、ブロックＰとブロックＤとの機械の長手方向（Ｚ軸）の相対変位で、プラスは無負荷時に対してお互いが遠ざかり、マイナスは近づく寸法を表す。

⑦ 表３－２の、“横方向変形量”と“縦方向変形量” は、ブロックＰとブロックＤとの横方向（Ｘ方向）と縦方向（Ｙ方向）の無負荷時に対する相対変位を表す。

⑧ 解析12、13、14、17、18は、変形量を20倍に拡大して表示してある。

⑨ ３.２.１.２項で記述したように、ブロックＤとブロックＰとの間には 0.5mm の隙間を設けてあるので、“Ｏリング潰し代”と“特殊パッキン潰し代”の値は、無負荷時の 0.5mm の隙間での潰し代に変形後の値を加えた或いは引いたものである。変形により、ブロック同士が離れる場合は減算し、近づく場合は加算した。Ｏリングと特殊パッキンの標準の潰し代は、いずれも 0.5mm である。

⑩ 解析１～22では、Ｏリング部、特殊パッキン部とも隙間が減少した。これは、ブロックＰが移動プレートとは反対側に変形したが、ブロックＤがそれ以上に変形したためであり、全てのブロックで同じ結果となった。従って、Ｏリング、特殊パッキンとも、取付時より更に潰されることになり、流体のリークにとっては有利である。解析23～33では隙間が増加しているので、解析１～22の隙間の減少は熱の影響であると考えられる。

⑪ 横方向と縦方向にも各ブロックが変形しており、ブロックＰとブロックＤの相対変位量は最大のものでも 1.063mm であるので、Ｏリングや特殊パッキンがはみ出ることはない。

表３－１　解析条件

	型締力	圧力条件	温度条件	ブロック部流体作用域
解析１～11	24ton	有	有	特殊パッキンの内側
解析12～22	24ton	有	有	Ｏリングの内側
解析23～33	0ton	無	無	特殊パッキンの内側

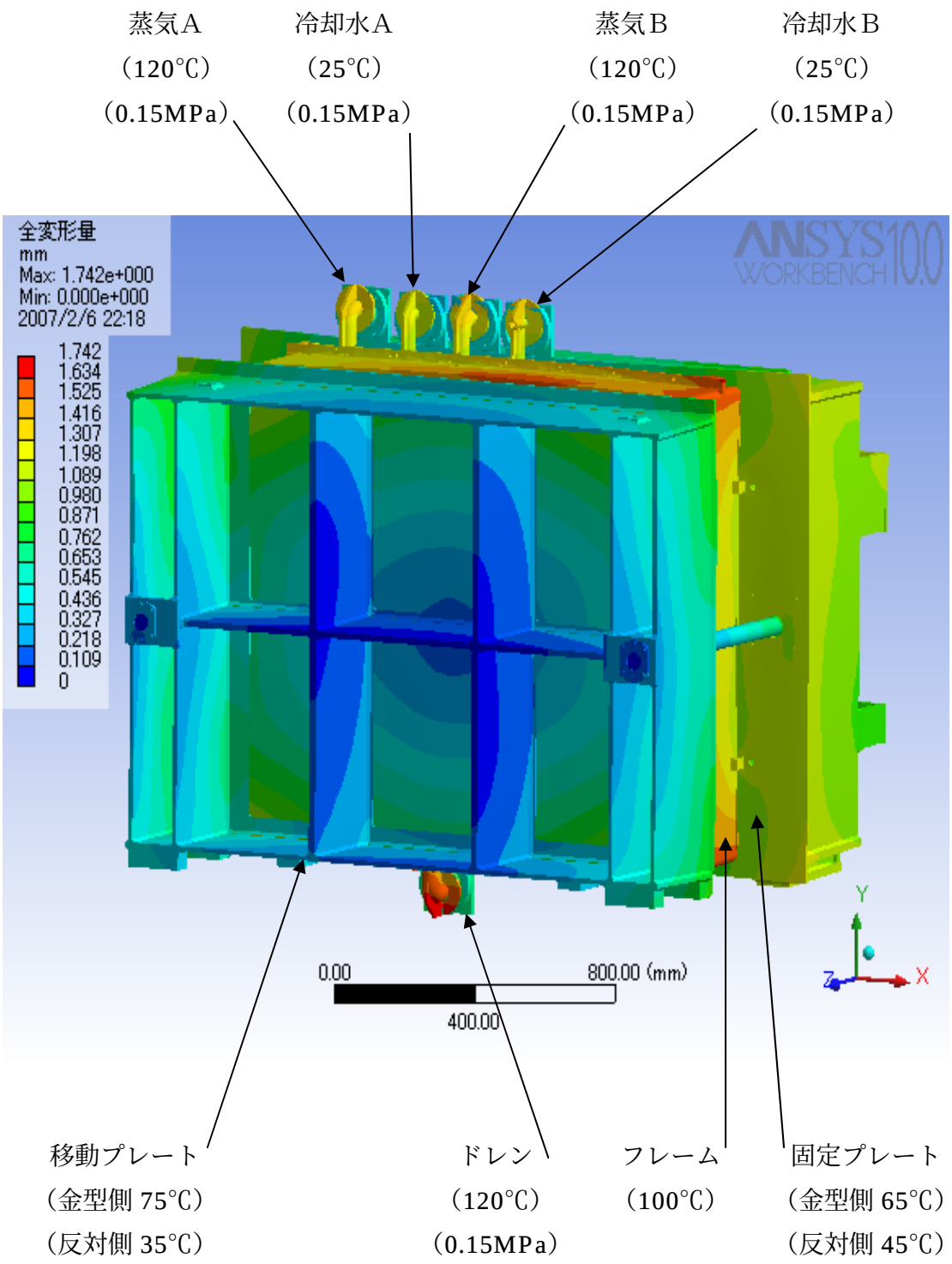
表３－２　解析結果

（単位 mm）

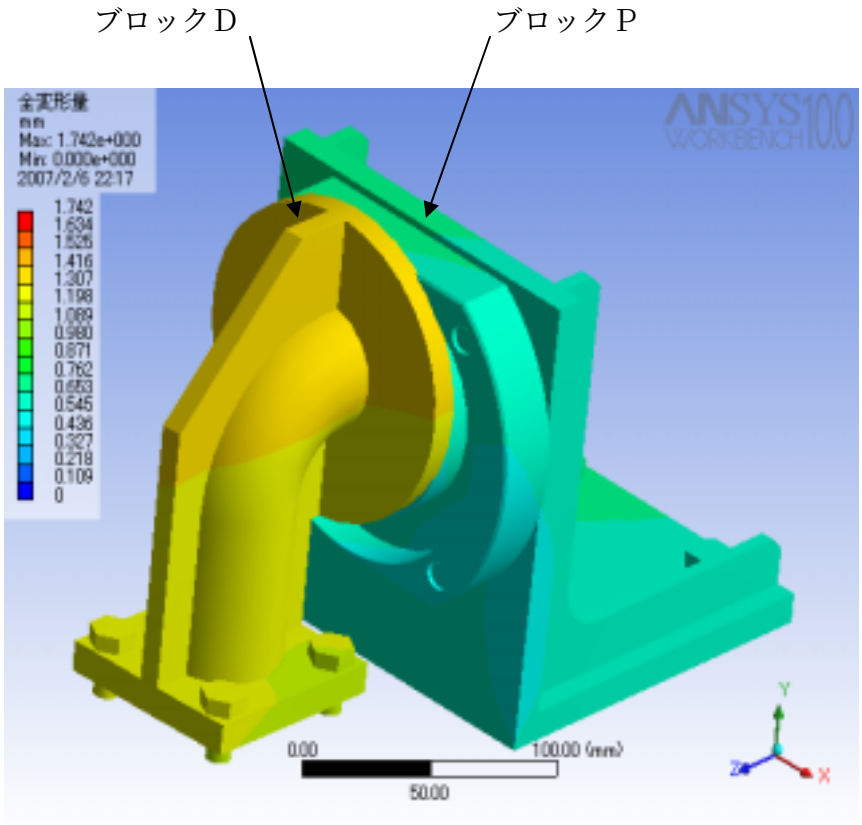
	ブロック部位	Ｏリング部		特殊パッキン部		横方向変形量	縦方向変形量
		潰し代	変形量	潰し代	変形量		
解析１	全体						
解析２、3	蒸気Ａ	0.508	－0.008	0.505	－0.005	0.637	0.736
解析４、5	蒸気Ｂ	0.749	－0.249	0.741	－0.241	0.219	1.013
解析６、7	冷却水Ａ	0.515	－0.015	0.503	－0.003	0.399	0.925
解析８、9	冷却水Ｂ	0.651	－0.151	0.621	－0.121	0.002	1.063
解析10、11	ドレン	0.769	－0.269	0.736	－0.236	0.336	0.974
解析12	全体						
解析13、14	蒸気Ａ	0.562	－0.062	0.550	－0.050	0.608	0.707
解析15、16	蒸気Ｂ	0.865	－0.365	0.811	－0.311	0.205	0.982
解析17、18	冷却水Ａ	0.612	－0.112	0.585	－0.085	0.385	0.939
解析19、20	冷却水Ｂ	0.804	－0.304	0.750	－0.250	0.011	1.029
解析21、22	ドレン	0.790	－0.290	0.752	－0.252	0.331	0.956
解析23	全体						
解析24、25	蒸気Ａ	0.457	＋0.043	0.452	＋0.048	0.002	0.001
解析26、27	蒸気Ｂ	0.454	＋0.046	0.449	＋0.051	0.000	0.002
解析28、29	冷却水Ａ	0.443	＋0.057	0.436	＋0.064	0.002	0.003
解析30、31	冷却水Ｂ	0.450	＋0.050	0.443	＋0.057	0.001	0.006
解析32、33	ドレン	0.451	＋0.049	0.445	＋0.055	0.001	0.003

解析ソフト

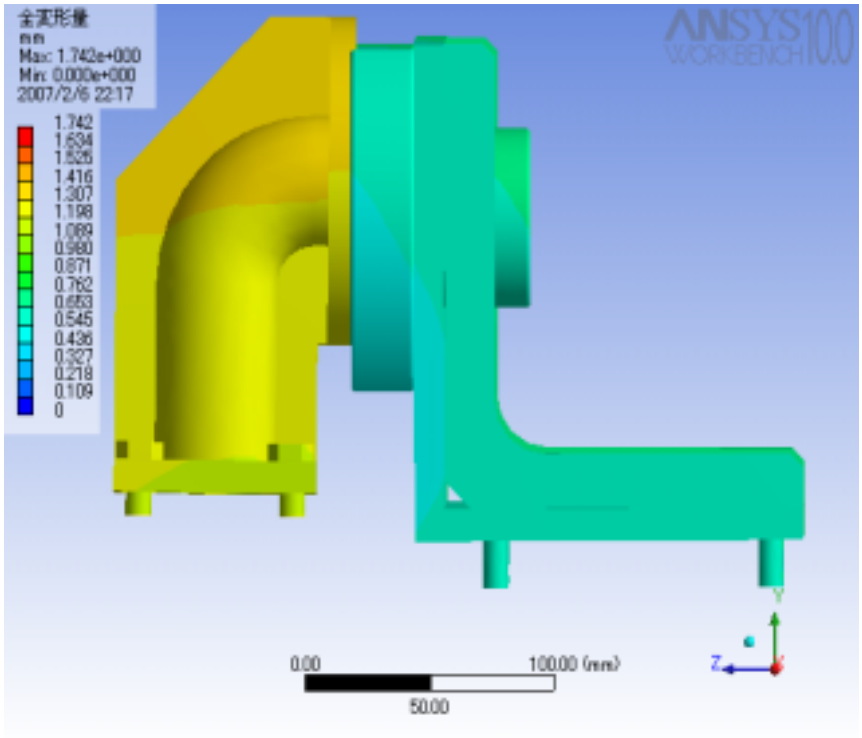
※１：ANSYS DesignSpace（サイバネットシステム）


蒸気A
（120℃）
（0.15MPa）
冷却水A
（25℃）
（0.15MPa）
蒸気B
（120℃）
（0.15MPa）
冷却水B
（25℃）
（0.15MPa）
全変形量
mm
Max: 1.742e+000
Min: 0.000e+000
2007/2/6 22:18
1.742
1.634
1.525
1.416
1.307
1.198
1.089
0.980
0.871
0.762
0.653
0.545
0.436
0.327
0.218
0.109
0
ANSYS 10.0
WORKBENCH
0.00
800.00 (mm)
400.00
Y
Z
X
移動プレート
（金型側 75℃）
（反対側 35℃）
ドレン
（120℃）
（0.15MPa）
フレーム
（100℃）
固定プレート
（金型側 65℃）
（反対側 45℃）

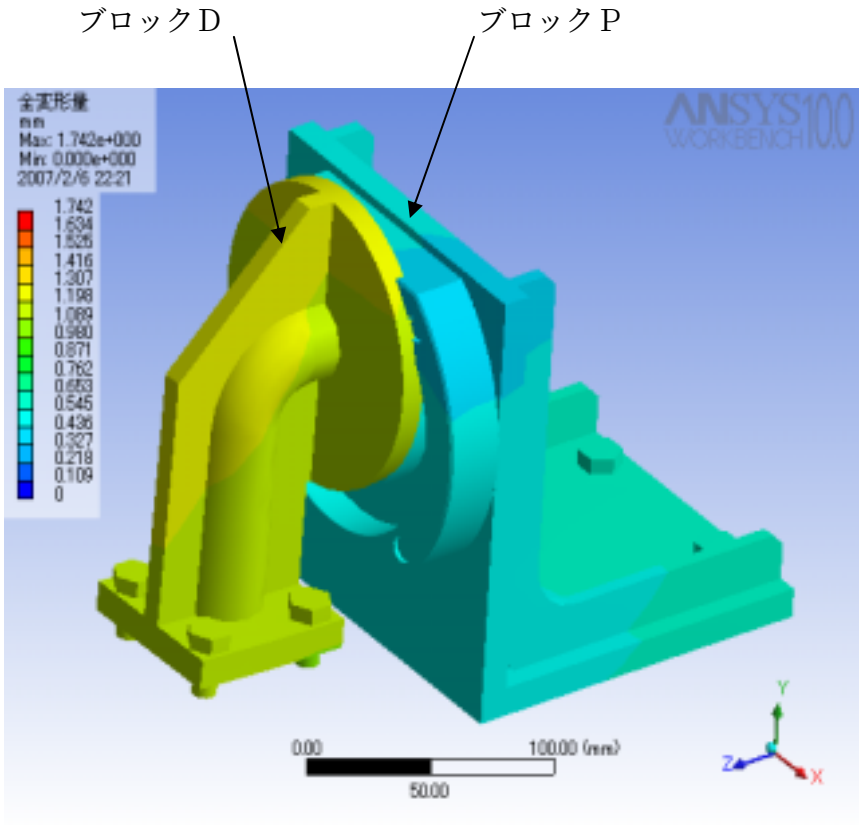
解析12　全体の変形



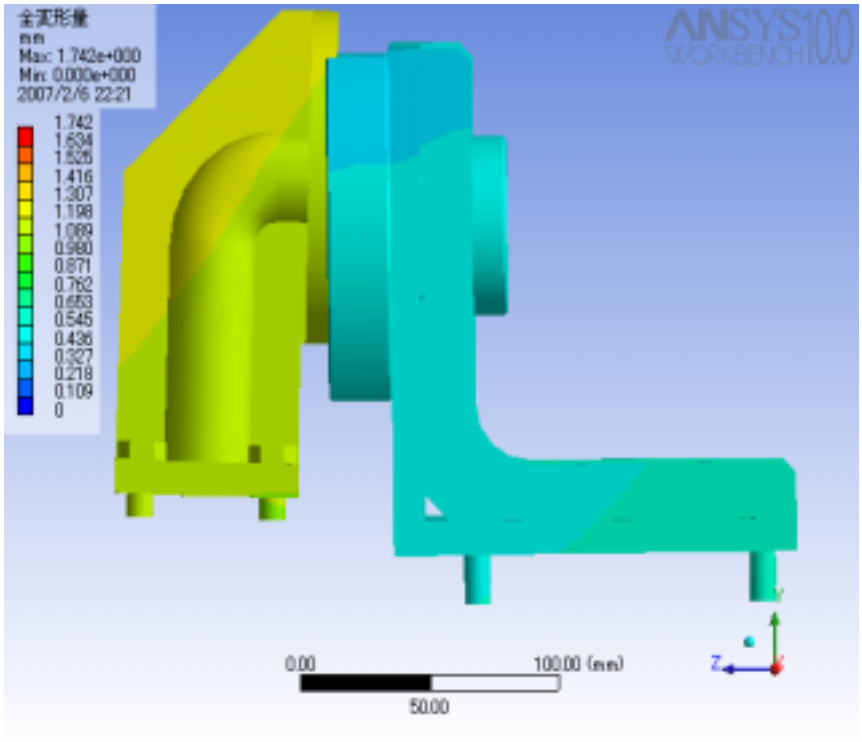
解析１３　蒸気Ａの変形



解析１４　蒸気Ａの変形（Ｚ軸）



解析１７　冷却水Ａの変形



解析１８　冷却水Ａの変形（Ｚ軸）

３.２.２ 金型マスタフレームの脱着機構

３.２.２.１ 従来の脱着機構

発泡樹脂成形機では、金型のダイプレートへの固定は、８或いは16か所の松葉クランプのボルトを手作業で締め付けるものであり、当然、時間が掛かる作業となっている。更に、ボルトの締め過ぎによるボルトの破断や、弱く締めたことによる金型の成形機からの落下の危険性がある等、不安定な固定方法である。

写真３－５で、松葉クランプのボルトを締めているところを示す。

写真３－５　松葉クランプのボルトを締めているところ

３.２.２.２ 本スタディでの脱着機構

金型のダイプレートへの取り付けを、短時間で、且つ適正な力で行えるように、シリンダでのクランプを検討し、設計を行った。

図３－５に金型クランパの内部構造図を示し、図３－６に４個の金型クランパで金型をダイプレートにクランプしている配置図を示す。

金型クランパは図３－５で示すように、主に、エアシリンダ、クサビ、クランプ、ジク、ツメ、バネで構成されている。エアシリンダが前進することによりクサビが前進し、ジクの周りをクランプが右回転し、クランプの先端に取り付けてあるツメが前進して金型を締め付ける。緩める時はエアシリンダが後退することによりクサビが後

退し、バネの力でクランプがジクの周りを左回転し、ツメが金型から離れる。締めの状態を図３－５に示す。

小さい力で大きいクランプ力を得るため、及び金型からの反力でクランプが戻らないように、くさび方式を採用し、クランプ力は１個当たり 1500kg とした。この値は、写真３－５で示す作業者がボルトを締める時に発生するクランプ力が多くの実績から問題がないため、このクランプ力より大きくなるように次の式から算出し、エアシリンダのボア径やくさびの角度等を決めた。

松葉クランプの M16 のボルトを、写真３－５のようにめがねレンチで締め付ける時、作業者がボルトに及ぼすトルク T（kgmm）は、

$$T = F_M \times L_R = 3900$$

F_M：作業者がめがねレンチに加える力（kg）（13kg とする※2）

L_R ：めがねレンチの有効長さ（mm）

となる。このトルク T により、M16 のボルトに発生する軸力 F_B（kg）は、

$$T = 0.5 \times \{F_B \times D_E \times \tan(\rho + \beta) + F_B \times D_H \times \mu_H\}$$ ※3

$$\therefore F_B = \frac{2T}{D_E \times \tan(\rho + \beta) + D_H \times \mu_H} = 1200$$

D_E：M16 ボルトの有効径（mm）

D_H：M16 六角ボルトの頭の座面の平均径（mm）

ρ ：山直角断面におけるねじ山面の摩擦角（rad）（摩擦係数は 0.15 とする※4）

β ：ねじのリード角（rad）

μ_H：六角ボルトの頭の座面の摩擦係数（0.15 とする）

となる。次に、金型クランパによる金型へのクランプ力 F_C（kg）は、くさびの理論※5 より、

$$F_C = \frac{k \times F_A}{\tan(2\lambda + \delta)} = 1500$$

k ：金型クランパ内のモーメントの係数

F_A：エアシリンダの出力（kg）

λ：くさび面等の摩擦角（rad）（給油するため摩擦係数を 0.1 とする※6）

δ：くさびの角度（rad）

となる。つまり、

$$F_C > F_B$$

となるように設計した。

金型クランパはくさびの原理を利用しているので、金型クランパのエアシリンダの空気圧がゼロになってもくさびが戻らないこと、及びエアシリンダで確実にくさびが抜けること、を満足させる必要がある。前者については、

$2\lambda > \delta$ ※7

を満足するので、エアシリンダの空気圧がゼロになってもくさびは戻らない。次に、くさびを抜くのに必要な力 F_R (kg) は※8、

$$F_R = \frac{F_C \times \tan(2\lambda - \delta)}{k} = 30$$

となり、エアシリンダの後退力 F_B (kg) は、

$$F_B = 360$$

であるので、

$$F_B > F_R$$

となり、問題ない。しかし、ここで考えなければならないのが、室温で金型を取り付けてクランプしたが、成形した金型の温度が室温まで下がる前にアンクランプする場合である。つまり、金型のクランプされる部分の熱膨張によりクランプ力が増大している場合である。金型クランパも同じだけ膨張すればクランプ力は増大しないが、安全サイドの設計として、金型だけ膨張した場合で検討する。室温25℃から３.２.１.３項の⑤で記述している75℃の温度まで上昇し、その温度のままアンクランプするとすれば、金型のクランプされる部分の熱膨張量 L_H (mm) は、

$$L_H = \alpha \times T_D \times L_C = 0.037$$

α：金型の線膨張係数（2.3×10^{-5}/℃とする）

T_D：金型の温度上昇量（℃）

L_C：クランプされる部分の厚さ（mm）

となる。更に、安全サイドの計算として、金型クランパが完全剛体とし、金型だけがこの L_H だけ圧縮されるとした場合の増加する力 F_H (kg) は、

$$F_H = \frac{E \times A \times L_H}{L_C} = 6700$$

E：金型のヤング率（7000kg/mm² とする）

A：金型の圧縮される部分の面積（mm²）

となる。従って、この F_H だけクランプ力が増加したとして、くさびを抜くのに必要な力 F_{RH} (kg) は、

$$F_{RH} = \frac{(F_C + F_H) \times \tan(2\lambda - \delta)}{k} = 160$$

となるが、

$$F_B > F_{RH}$$

となるので問題ない。

更に、固定型及び移動型それぞれに４個使用する金型クランパ４個の合計クランプ力が成形機の型開力や離型時のイジェクト力よりも大きいので、クランプ力として十分である。つまり、型開する時に何らかの理由で固定型と移動型が固着した場合、成

形機の型開力を金型クランパが受けることになり、型開力よりクランプ力が小さいと金型がダイプレートから離れ、問題が生ずる場合がある。同様に、製品離型時に成型品が固定型に固着した場合は、固定型クランパが成形機のイジェクト力を受けることになり、やはり、上述の異常型開と同様の現象に対応できなくてはならない。

次に、金型装着の動作を説明する。

① エアシリンダが後退して金型クランパのツメが後退し、金型クランパを手で後退させている状態で、金型をダイプレートに接触させる。

② ４個の金型クランパを手で前進させ、図３－６の状態にする。

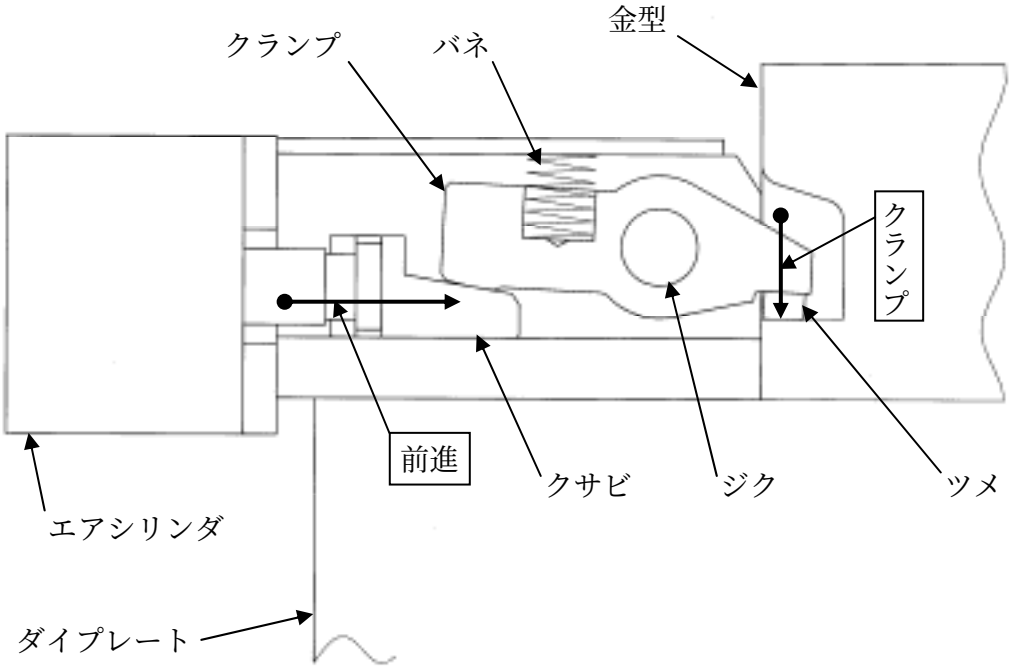
③ エアシリンダを前進させ、金型クランパのツメを前進させて図３－５の状態にして金型をクランプする。

金型を取り外す場合は、次のようになる。

① エアシリンダを後退させ、金型クランパのツメを後退させる。

② ４個の金型クランパを手で後退させる。

③ 金型をダイプレートから切り離す。



エアシリンダ前進→クサビ前進
→クランプがジクの周りを右回転→ツメが金型をクランプ

図３－５　金型クランパが金型をクランプしている状態

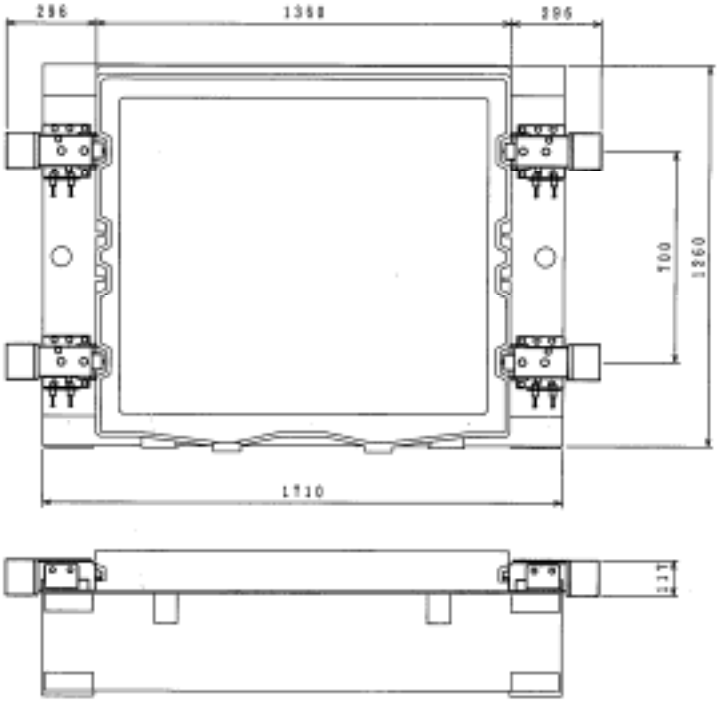


図３－６　金型クランパ配置図

文献

※２：山本晃著「ねじ締結の理論と計算」（養賢堂）（Ｐ．83）
※３：山本晃著「ねじ締結の理論と計算」（養賢堂）（Ｐ．41）、他
※４：大滝英征著「ボルト・ナット結合体のボルト谷底における応力分布（第２報）」
（日本機械学会論文集）
※５：「機械工学便覧」（日本機械学会）（Ｐ．3－37）、他
※６：大滝英征著「ボルト・ナット結合体のボルト谷底における応力分布（第２報）」
（日本機械学会論文集）
※７：「機械工学便覧」（日本機械学会）（Ｐ．3－38）、他
※８：「機械工学便覧」（日本機械学会）（Ｐ．3－38）、他

３.２.３ 型の開閉ストロークの調整機構を有する電動駆動の開閉装置

３.２.３.１ 従来の開閉装置

本スタディは自動金型交換システムであるため、金型を機械に装着するにあたり、成形機の移動プレートの停止精度も重要になってくる。従来の成形機の型開閉装置には空圧シリンダを使用しており、室温の変動により、移動プレートの停止位置がバラツク。

また、従来機は型開閉用に油圧ブースタ付空圧シリンダや油圧シリンダを使用しているため、作動油の油漏れにより、環境が悪化することも問題となっている。

３.２.３.２ 本スタディでの開閉装置

温度や速度が変化しても移動プレートの停止精度が良い型開閉装置を検討し、設計を行った。全ての厚さのマスタフレームに対して、ボールネジを全型開閉ストロークに対応する長さとした。停止精度を向上させるためには電動が最適で、トルク伝達効率に優れているボールネジをモータで回転し、ロータリエンコーダを使用して正確な位置制御を行う。移動プレートはモータとボールネジによって駆動されるが、その速度は設定周波数によって一定に保たれる。室温の変動により摺動抵抗が変動しても、電流値が変わるだけで周波数は変化せず、速度は一定である。停止するための減速は減速時間で管理されるので、摺動抵抗が変化しても加速度は変化せず、停止位置は安定する。

更に、作動油を使用しないため、クリーンな環境となる。

図３－７に型開閉装置の全体図を示す。モータで、直結している１本のボールネジを回転させ、タイミングベルトにより、他方のボールネジも同回転をし、移動プレートを前進させる。移動型が固定型に接触する手前で、移動プレートの前進駆動源をギヤードモータに切り替えて大きい型締力を発生させる。移動プレートの位置と速度を制御するロータリエンコーダはタイミングベルト部に設けてあり、ボールネジの回転を検知する。金型交換作業のために停止する移動プレートの位置は固定プレートから遠く離れているため、駆動源はギヤードモータではなくモータが働く範囲である。

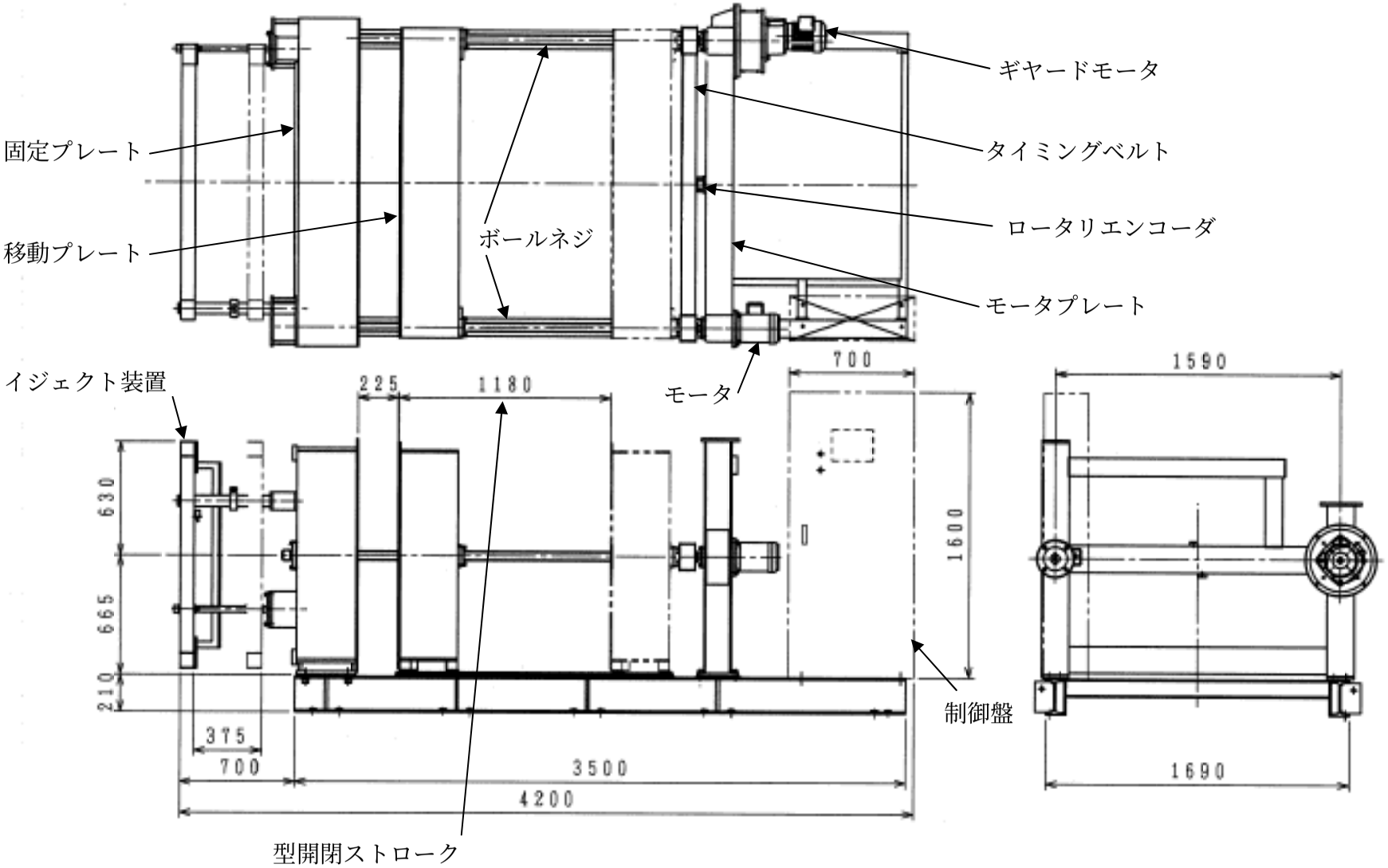


図３－７　型開閉装置の全体図

３.２.４ 発泡粒子原料の切り替え接続

３.２.４.１ 従来の充填器へのホースの脱着方法

型内への充填器に接続されているホースとしては、原料ホース(数本～10数本)とエアホース(10数本～数10本)がある。狭いイジェクト装置部に作業者が入り込んで脱着を行うため、長い時間を要し、金型交換時間の短縮の障害となっている。

写真３－６に、イジェクト装置部の狭い所に入って、原料ホースとエアホースを接続している様子を示す。

写真３－６　エアホースを充填器に接続しているところ

3.2.4.2 本スタディでの脱着方法

１本の原料ホースと３本のエアホースを脱着せずに、充填器に付けたまま金型交換ができる充填器を採用した。写真３－７で示すようにホルダを金型に常時装着しておき、写真３－８で示すように充填器本体をホルダから脱着する。充填器本体には常に１本の原料ホースと３本のエアホースを接続しておくので、ホースの脱着なしに、充填器を金型から取り外すことができる。

写真３－７　ホルダが固定型に装着されているところ

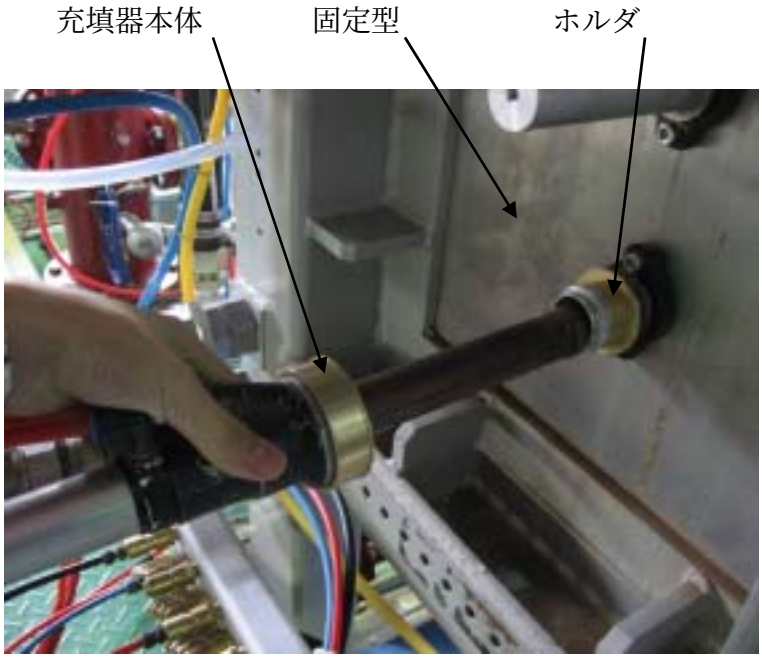


写真３－８　ホースが接続されている充填器本体を固定型に差し込むところ

３.２.５ 取出ピンの装着・接続

３.２.５.１ 従来の装着・接続方法

成形機に取り付ける前の外段取りで固定型の背面に取り付けた取出ピンの前シャフトは、成形品形状に合わせて、金型から成形品が離型しやすいように配置されている。成形機側のイジェクト板と金型側の取出ピンの前シャフトとを接続するために、作業者が金型背面とイジェクト板の間に入り、後シャフトと前シャフトを接続する。更に、イジェクト板の後で、後シャフトとイジェクト板を接続し、離型の微調整をする。接続する数は、10数本から30数本である。この接続する場所には、充填器、原料ホース、エアホース、後シャフトが複雑に交差、装着してあり、接続に相当な時間を要する。

図３－８にイジェクト装置の代表的な全体図を示す。

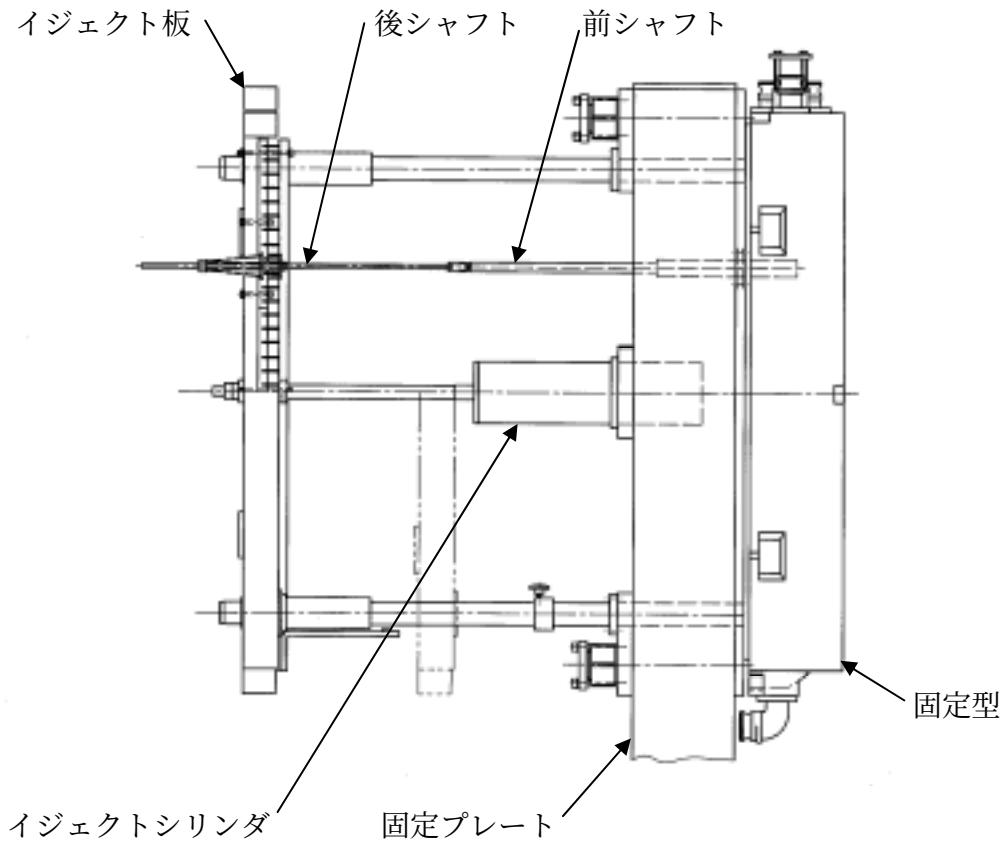


図３－８　イジェクト装置全体図

3.2.5.2 本スタディでの装着・接続方法

前シャフトと後シャフトとの接続も、後シャフトとイジェクト板との接続も行わなくてもいい方法を検討し、設計を行った。前シャフトと後シャフトを一体物とし、その一体の取出ピンとイジェクト板を接続せずに、イジェクト板が前進する時は取出ピンを押し、イジェクト板が後退する時は取出ピンに装着した圧縮コイルバネで取出ピンが戻るようにした。

図３－９はイジェクト板が後退限の状態を示す。イジェクト板と取出ピンは分離しているが、取出ピンはバネにより後退限の状態にある。

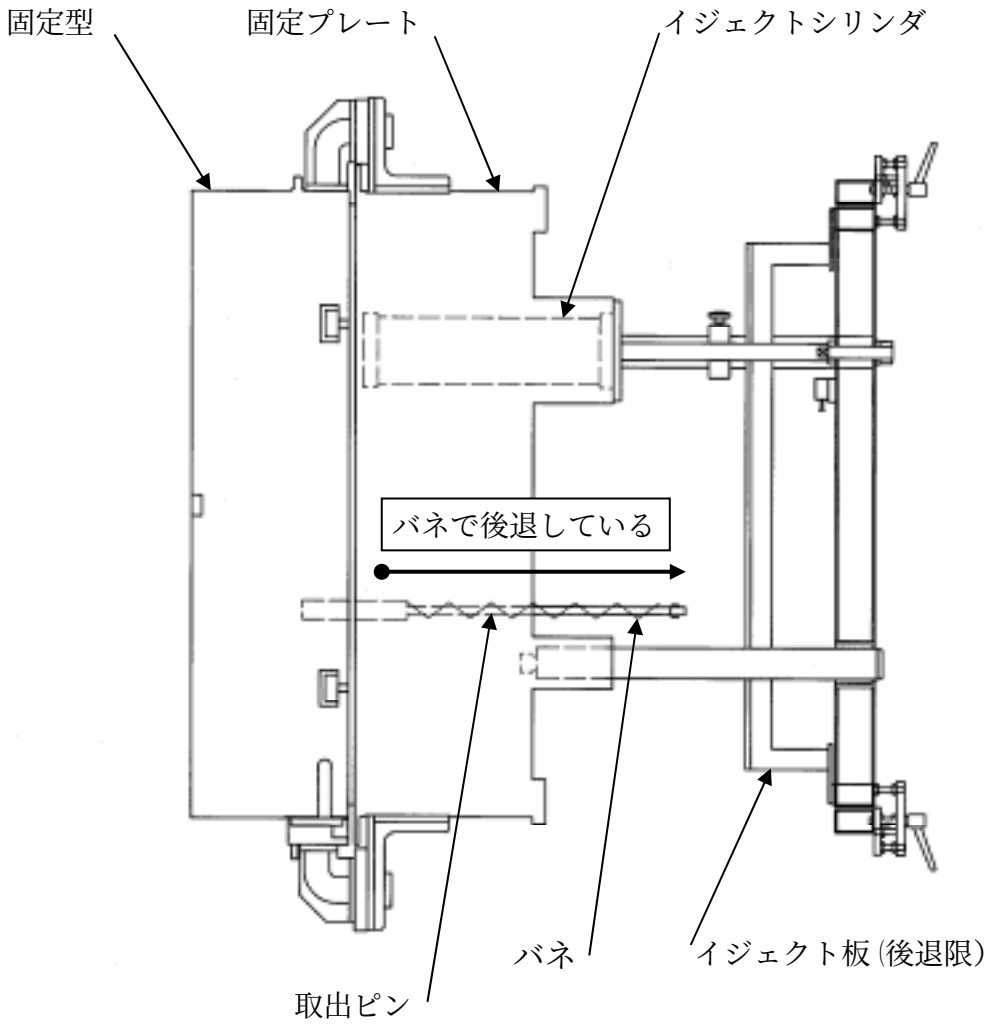


図３－９　イジェクト板が後退限の状態

３.２.６ 金型搬送装置

３.２.６.１ 従来の金型搬送

金型置場から成形機に装着するまで、金型のダイプレートへの固定も含めて、一般的に下記の手順で行うが、金型搬送は人手による作業が多く、長い時間を要している。

① 金型を、手押し車やコロ等で、成形機の固定プレートと移動プレートの間の下方まで搬送してくる。

② そこから上方にクレーンで吊り上げる。その様子を写真３－９に示す。

③ 成形機の固定プレートと移動プレートの間まで吊り上げる。

④ 更に、金型の下面が移動プレートの下部に取り付けてある金型受台の上面より上に来るまで吊り上げる。

⑤ 移動プレートの金型取付面が移動型の背面に接するまで型締する。

⑥ 移動型が、移動プレートの金型受台に乗るまでクレーンで金型を下ろす。

⑦ 金型が移動プレートの中央に来るように左右の位置をクレーンで調整する。

⑧ 移動型を、松葉クランプで移動プレートに仮止めする。

⑨ 金型をクレーンで吊ったまま、固定型の背面が固定プレートの金型取付面に接するまで、クレーンとともに低速で型締する。この時、固定型の背面から突き出ている数10本の充填器と取出ピンが固定プレートのリブに当たらないように注意深く見ておく必要がある。充填器や取出ピンが固定プレートのリブに当たりそうな時は、リブを横にスライドさせる。

⑩ 固定型を松葉クランプで固定プレートに固定し、移動型の松葉クランプも本締めする。

⑪ 固定プレートの下部に取り付けてある金型受台のジャッキボルトを、固定型の下面に当たるまで、回して上げる。

⑫ クレーンを金型から取り外し、完了。

写真３－９　成形機の下方から金型を吊り上げるところ

３.２.６.２ 本スタディでの装置

前項で述べたように、金型搬送には工程が多く、金型クランプ等の他の作業とも絡んでくるため、金型交換時間短縮のためには、金型搬送装置は本スタディにおいて非常に重要な装置である。搬送の工程を全て自動化し、操作パネルで行えるように検討し、設計を行った。

図３－10に搬送装置の全体図を示す。交換後に成形機に取り付ける新しい金型を載せる金型リフタと、成形機から取り外した古い金型を載せる金型リフタの２つの金型リフタがあり、これらは機械の長手方向に約 4600mm、ラック・ピニオンによりモータで水平移動する。金型リフタはモータによりパンタグラフ式に上下し、２個別々に約 2000mm ストロークする。金型リフタには金型を載せる台が装着されており、金型の水平方向の位置決めのためのガイドがある。金型リフタの水平移動と上下移動の位置検知のため近接スイッチを設けており、モータ駆動制御とともに、正確な位置での停止を可能にしている。これは、成形機の型開閉動作での停止位置と正確に合致させる必要があり、モータ駆動を選択した大きな理由である。更に、成形機の作動油レス化に伴い、搬送装置でも水平移動と上下移動の電動化により、クリーンな環境作りにも寄与する。

次に動作を説明する。

① 金型交換前の成形作業中に、どちらかの金型リフタに新しい金型をクレーン等で載せておく。

② 金型交換作業に入ると、金型リフタが成形機の下方の金型受取位置まで移動する。

③ 金型リフタが上昇して古い金型を受け取って下降する。

④ 金型受渡位置まで金型リフタが水平移動する。

⑤ 金型リフタが上昇して新しい金型を成形機に渡す。

⑥ 金型リフタが下降し、金型交換作業前に居た場所まで水平移動する。

この詳細な動作については、他の作業とともに、３.３.７項で説明する。

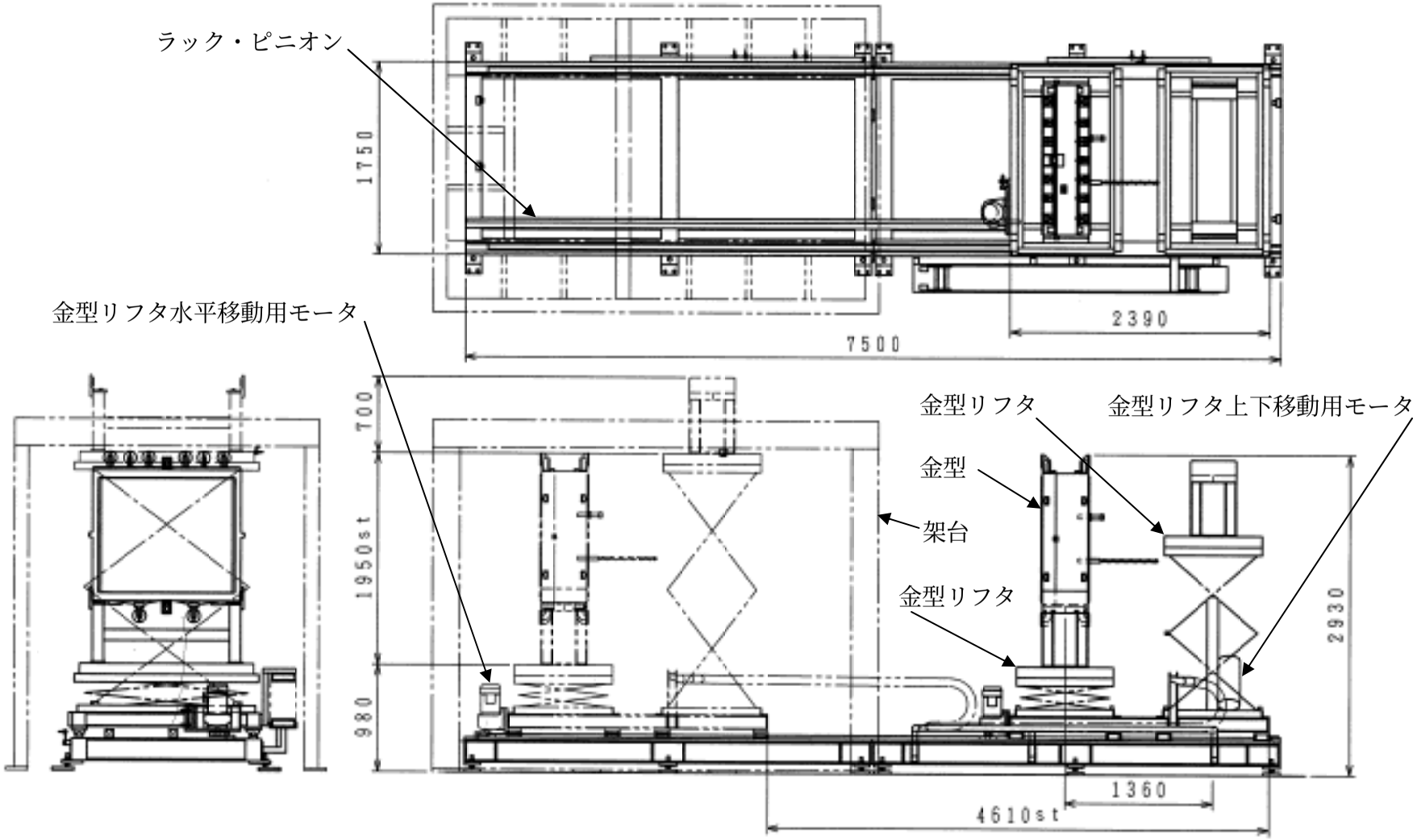


図３－10　金型搬送装置の全体図

３.３　金型交換装置の試作と評価

３.２.１から３.２.６項で述べた金型交換装置の設計に基づいて試作を行った。各装置とそれを統合したシステムについて、その試作の内容と評価を記述する。

３.３.１ ワンタッチ用役接続構造

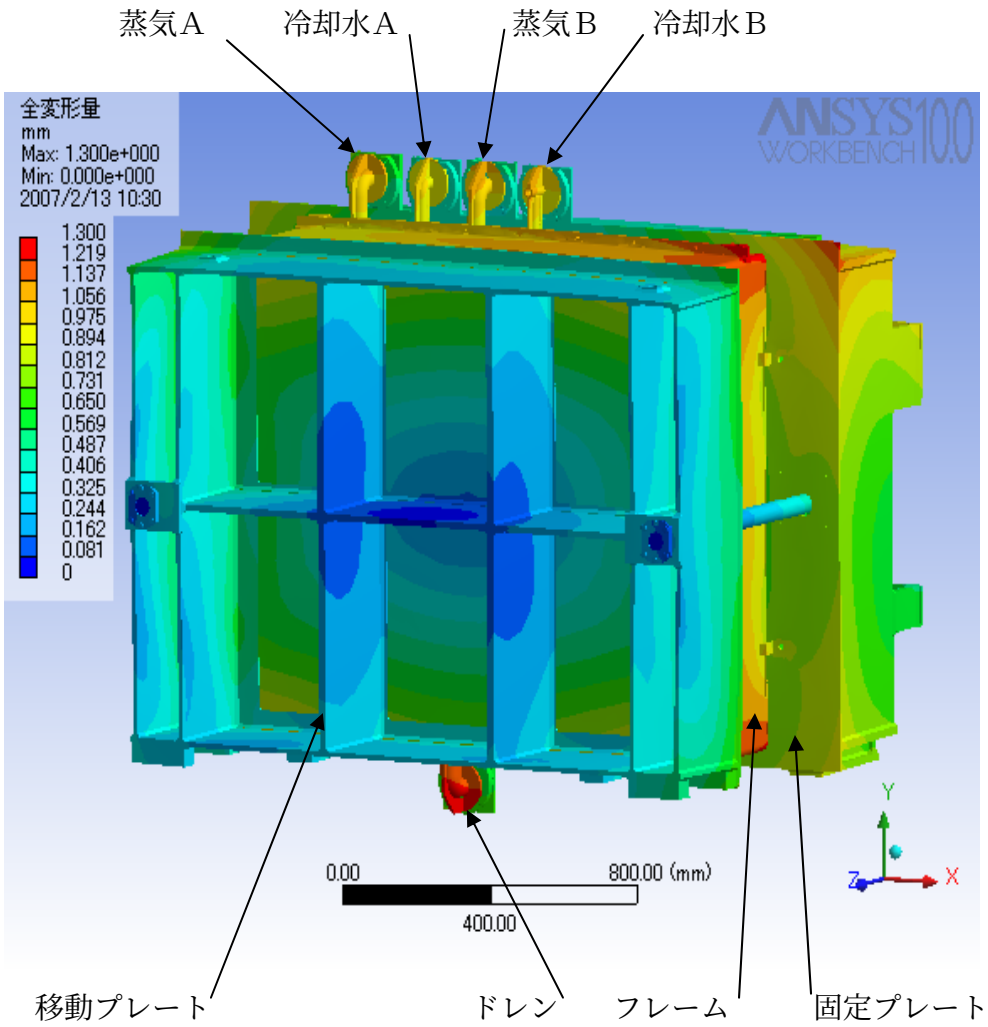
図３－２で示す用役接続用のブロックＰをダイプレートに、用役接続用のブロックＤを金型に、図３－３で示すように装着し、蒸気Ａと蒸気Ｂに 0.15MPa の蒸気を、冷却水Ａに水道水を流してドレンから排水し、ブロックＰとブロックＤの各部及びその合わせ面からリークしないことを確認した。本スタディで使用した金型は冷却水Ｂを使用しないので、冷却水Ｂのリークの確認はできなかったが、有限要素法による解析結果から問題ないと判断できる。

有限要素法による解析の検証については、３.２.１.３項の⑤で記述したように、型締力以外の圧力条件と温度条件は考えられる最大の値を使用したので、この条件での検証はできなかった。実際に蒸気を流して各部の温度を実測し、その条件を解析ソフトに入力して解析を行った。隙間はスキミゲージで測定した。その条件と結果を表３－３と解析34～36に示す。解析34～36の変形は20倍に拡大して表示してある。

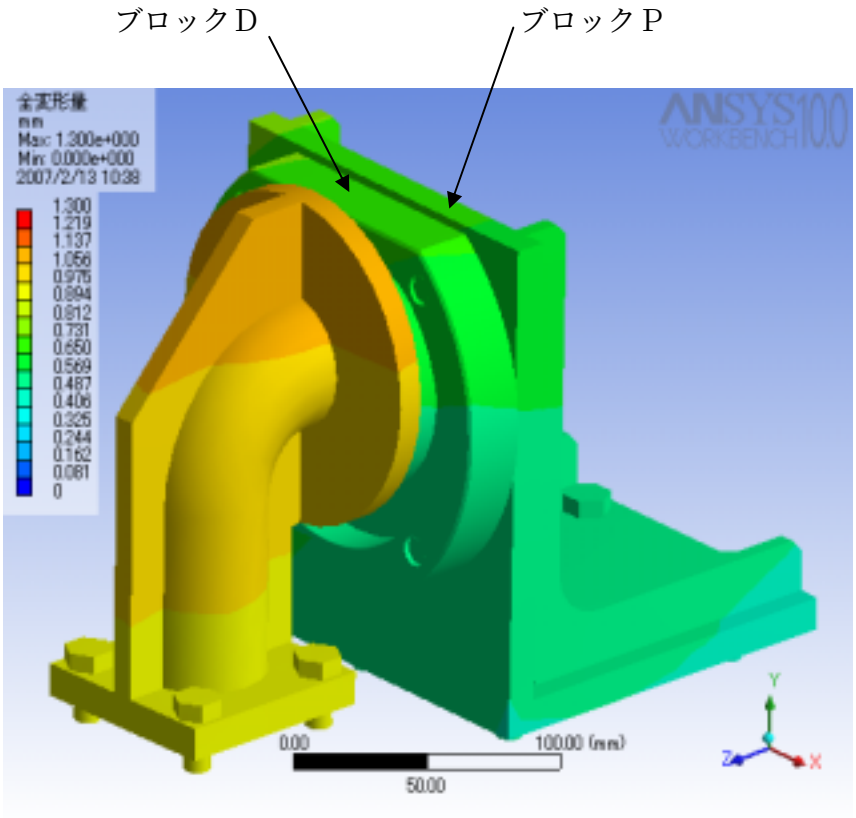
表３－３　蒸気Ａ部の実測値と解析

条件	実測値	入力値	解析結果
型締力	㈱計算値㈱ 20ton	20ton	
金型内蒸気圧	0.05MPa	0.05MPa	
ブロック部の蒸気圧作用域		Ｏリング内側	
蒸気ＡとＢの蒸気圧	0.05MPa	0.05MPa	
冷却水ＡとＢの水圧	0MPa	0MPa	
ドレンの蒸気圧	0.05MPA	0.05MPA	
蒸気ＡとＢの内面温度		120℃	
蒸気ＡとＢの外面温度	70℃	70℃	
冷却水ＡとＢの内面温度		15℃	
ドレンの内面温度		120℃	
ドレンの外面温度	70℃	70℃	
フレームの外面温度	70℃	70℃	
固定プレートの上下、側面温度	15℃	15℃	
移動プレートの上下、側面温度	15℃	15℃	
蒸気Ａ上端隙間の変化量	＋0.2mm		＋0.088mm
蒸気Ａ下端隙間の変化量	±0mm		＋0.037mm

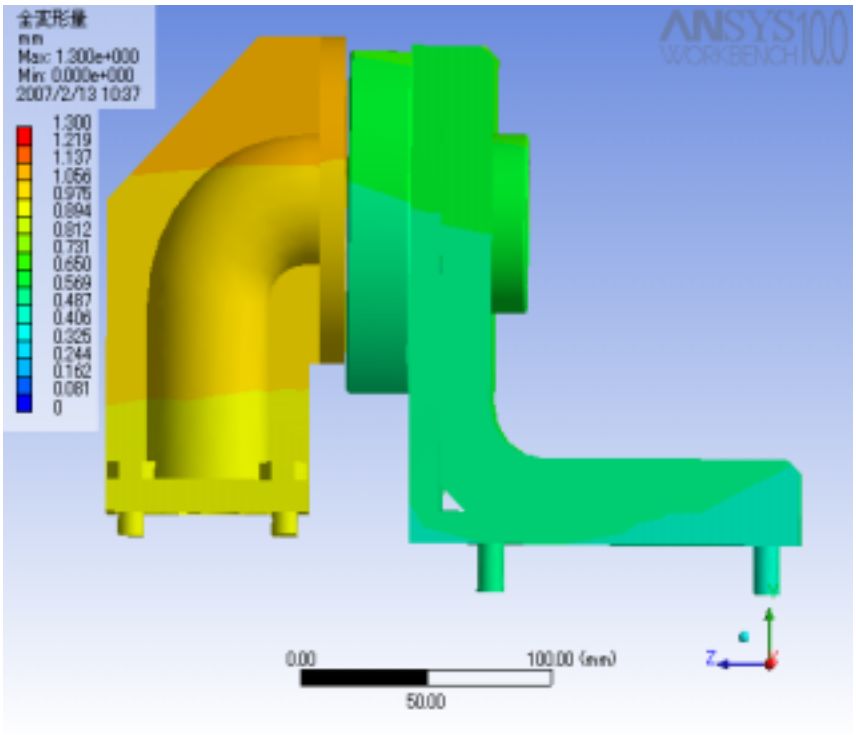
蒸気流入中における各ブロックの隙間測定を蒸気Ａだけにしたが、これは安全上の理由からである。つまり、型締力が掛かっていて、高温で圧力を持った蒸気が金型内にある状態で、成形機に登って測定することは危険であるため、成形機の外に立って測定できる蒸気Ａだけにした。無負荷時と蒸気流入時のブロックの隙間変化の実測値と解析結果の比較は蒸気Ａだけしかできなかったが、下記に述べる理由で、本スタディで行った有限要素法による解析は実際とかけ離れておらず、３.２.１.３項の解析は実用上使えると判断できる。解析１～22では、Ｏリング部と特殊パッキン部の隙間が減少し、想定と逆の結果であったが、解析34～36では実測値と同じく増加しており、解析１～22で入力した実機で考えられる最大条件では隙間が減少すると判断できる。解析34～36の条件は実測値及び成形で使用する値であるが、これらは生産ラインでの条件よりは緩いので、実際の生産ラインでの成形中のブロック間の隙間の変化は解析１～22と解析34～36の間と考えられ、本スタディで制作したワンタッチ用役脱着装置は、流体のリークがなく、問題なく使えると判断できる。



解析34　全体の変形



解析３５　蒸気Ａの変形



解析３６　蒸気Ａの変形（Ｚ軸）

３.３.２ 金型マスタフレームの脱着機構

図３－５で示す金型クランパを図３－６のようにダイプレートに取り付け、８個とも手でスムーズに前後進できることを確認した。更に、エアシリンダにより金型をクランプし、エアシリンダを後退させるとバネでクランプが戻り、金型からツメが離れることを確認した。エアシリンダ前進でのクランプ力は測定していないが、エアシリンダのピストンがストロークエンドまで行っておらず、設計とおりのクランプ力が発生していると判断する。

３.３.３ 型の開閉ストロークの調整機構を有する電動駆動の開閉装置

図３－７で示す電動駆動の開閉装置を装備した成形機を製作した。金型搬送装置の水平移動における金型リフタの停止位置との関係から、成形機の移動プレートの停止精度が重要であり、その停止精度の実測値を表３－４に示す。

表３－４　移動プレートの停止精度

	速度	減速区間	固定プレートからの停止位置	バラツキ
型締方向	75mm/s	60mm	447.22mm	0.12mm
			447.28mm	
			447.27mm	
			447.16mm	
			447.20mm	
			447.24mm	
			447.28mm	
			447.20mm	
			447.25mm	
型開方向	75mm/s	50mm	704.05mm	0.20mm
			703.85mm	
			703.85mm	
			704.00mm	
			703.85mm	
			703.90mm	
			703.85mm	
			704.05mm	
			704.05mm	

移動プレートに移動型を載せている状態で、移動プレートの速度は金型交換時で考えられる最大速度、減速距離は最小距離とした。実際に金型交換する位置はもっと固定プレートから遠い所であるが、停止位置の測定誤差があまり大きくならないように、表３－４の位置とした。

金型リフタ上面のガイドピンとの関係や、金型クランプのツメとの関係において、停止精度の実測バラツキが 0.2mm 以内であるので、金型リフタとの間での金型の受け渡しに十分対応できる。

３.３.４ 発泡粒子原料の切り替え接続

ホルダを写真３－７で示すように固定型に装着しておき、写真３－８で示すように、充填器本体とホルダとの脱着を行った。脱着が問題なくできることを確認し、発泡原料の漏れもなかった。

３.３.５ 取り出しピンの装着・接続

図３－９で示すバネ付き取出ピンをイジェクト板で押して成形品を突き落とし、イジェクト板が後退すると図３－９で示すように、取出ピンがバネで確実に後退することを確認した。

３.３.６ 金型搬送装置

図３－10で示す金型搬送装置を製作し、金型の搬送、及び成形機との間の金型の受け渡しが問題なくできることを確認した。

３.３.７ システム全体

表３－５に金型交換手順と一人作業で実際に掛かった所要時間を、図３－11から26、写真３－１０に表３－５の代表的な手順の説明を示す。合計で 651 秒となり、本スタディの目標である“１人、10分程度”を達成できた。

このシステムの状態で成形を行い、蒸気、水、圧縮空気、発泡原料の漏れがなく、金型クランプ装置とイジェクト装置も正常に作動したことを確認した。

表３－５　金型交換手順（一人作業）

手順	金型交換動作	金型交換時間に加算されない動作	所要時間
0	成形作業中	金型リフタに新しい金型を載せておく	
1	型締	新しい金型が載った金型リフタと古い金型を載せる空の金型リフタを金型受取位置まで水平移動、空の金型リフタを途中まで上昇させておく	10秒
2	固定型と移動型をボルトで固定		30秒
3	クイック充填器を手で取り外し		125秒
4	移動型下部ドレンホースを手で取り外し		65秒
5	固定型クランプ緩め		1秒
6	固定型の金型クランパを手で後退		15秒
7	金型受取(イジェクトピン回避)位置まで型開		9秒
8	金型受台高さまで金型リフタ上昇		24秒
9	移動型クランプ緩め		1秒
10	移動型の金型クランパを手で後退		15秒
11	金型受台より数mm上まで金型リフタ上昇		2秒
12	型開限まで型開		5秒
13	金型リフタ下降		26秒
14	新しい金型が載っている金型リフタを金型受渡(イジェクトピン回避)位置まで水平移動		10秒
15	新しい金型を金型リフタで金型受台より数mm上まで上昇		30秒
16	移動プレートが移動型に接触するまで型締		6秒
17	金型受台高さまで金型リフタ数mm下降		1秒
18	移動型の金型クランパを手で前進		15秒
19	移動型クランプ締め		1秒
20	金型リフタ下降		5秒
21	固定型が固定プレートに接触するまで型締	古い金型が載った金型リフタと新しい金型が載っていた空の金型リフタを成形回避位置まで水平移動し、その後、古い金型を金型リフタから降ろす	10秒
22	移動型クランプ緩め、金型が金型受台まで下降		1秒
23	固定型、移動型の金型クランパを手で前進		15秒
24	固定型、移動型クランプ締め		1秒
25	移動型下部ドレンホースを手で取り付け		70秒
26	クイック充填器を手で取り付け		125秒
27	固定型と移動型の固定ボルトを手で取り外し		25秒
28	型開		8秒
合計			651秒

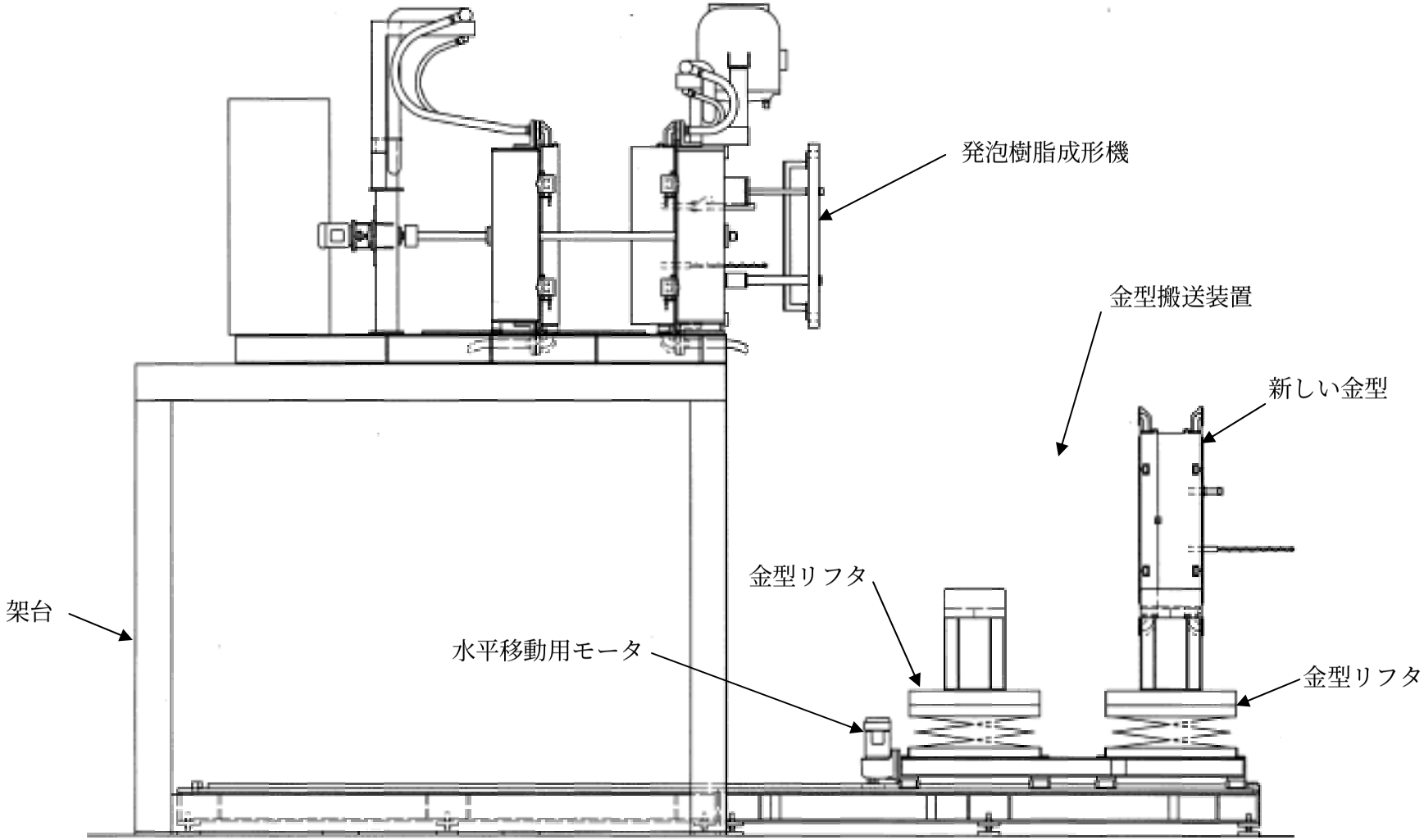


図３－11　表３－５金型交換手順０（成形作業中）

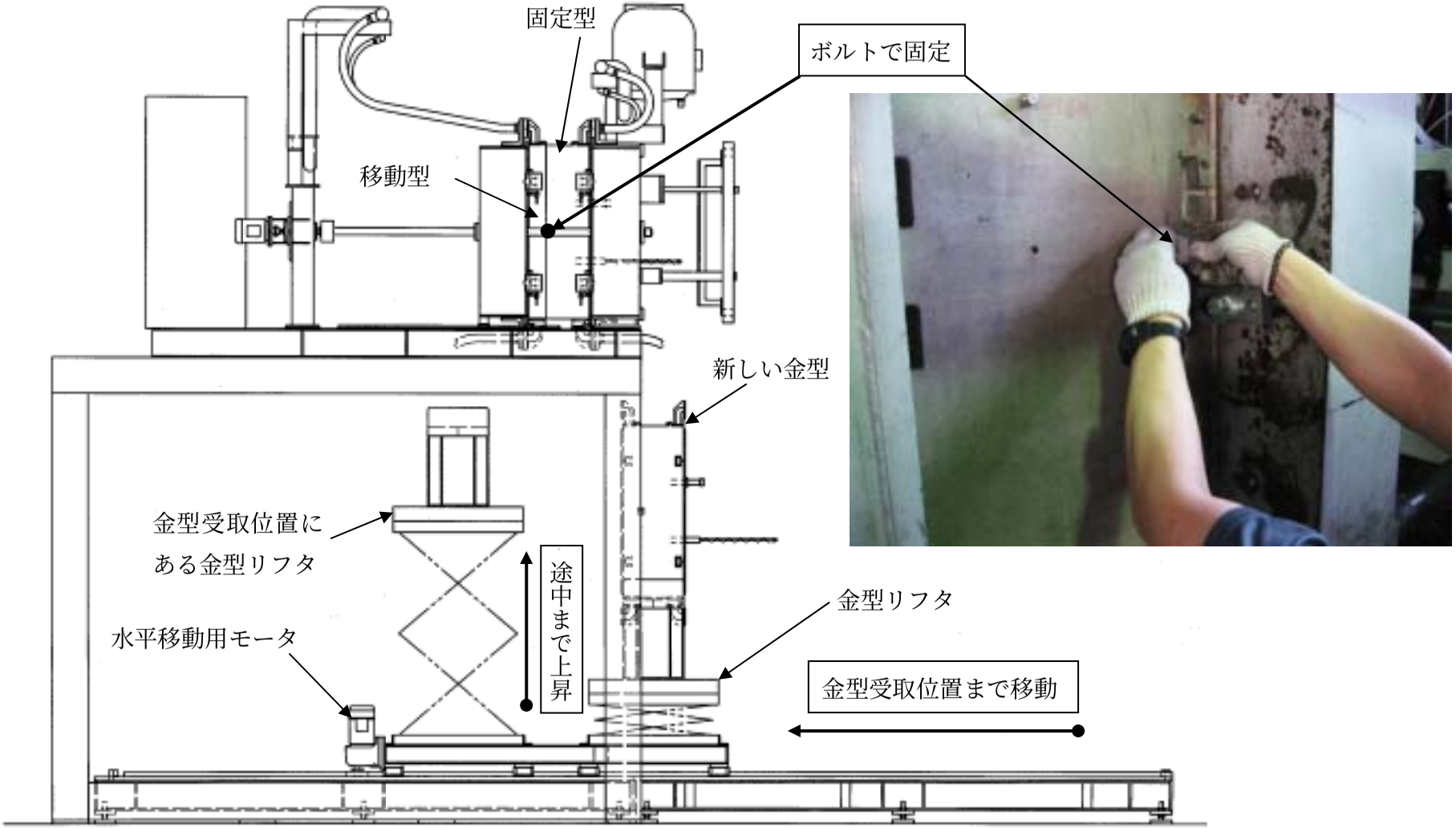


図３－12　表３－５金型交換手順２（固定型と移動型をボルトで固定。金型リフタを金型受取位置まで水平移動）

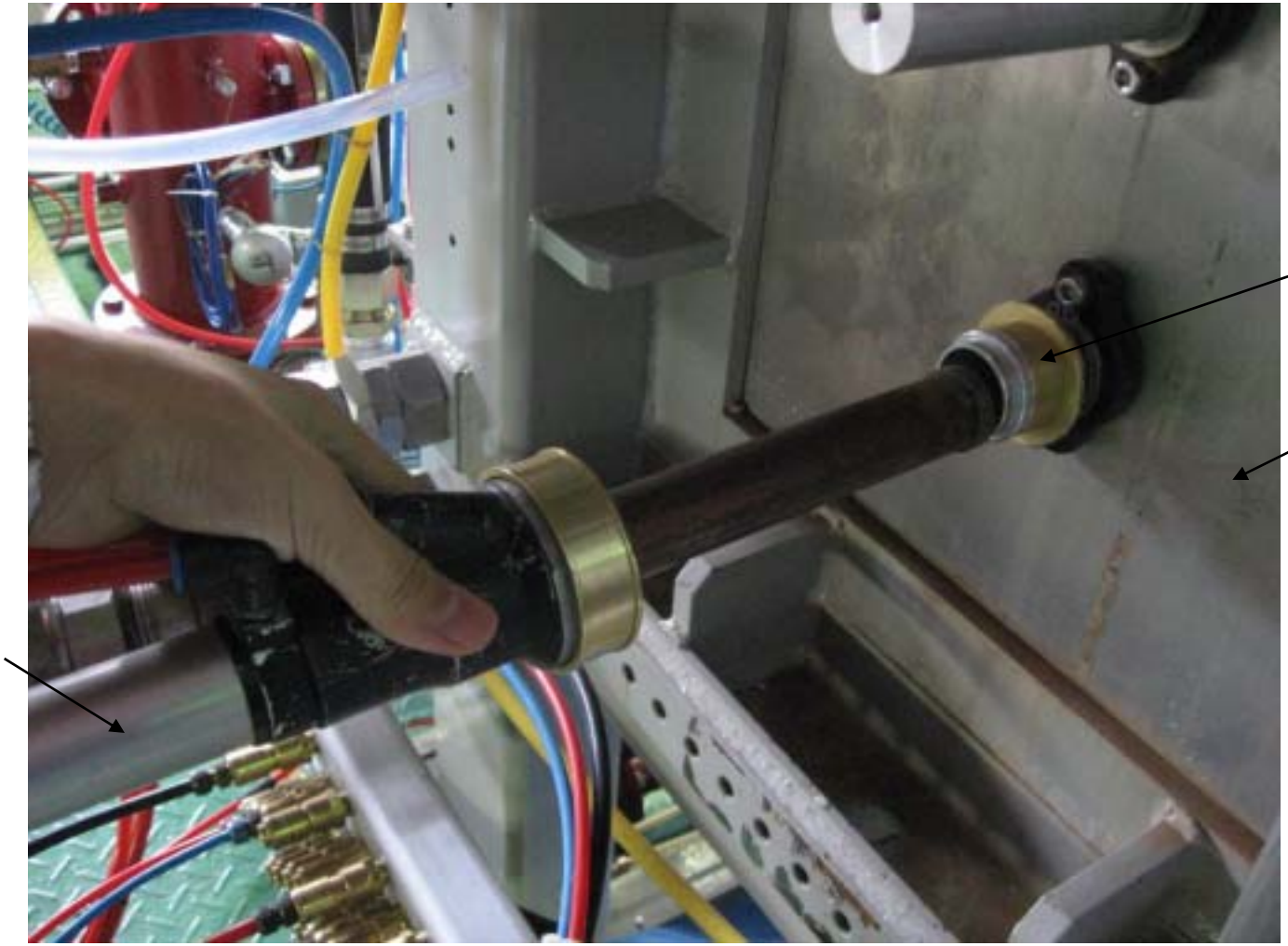


写真３－１０　表３－５金型交換手順３（クイック充填器を手で取り外し）

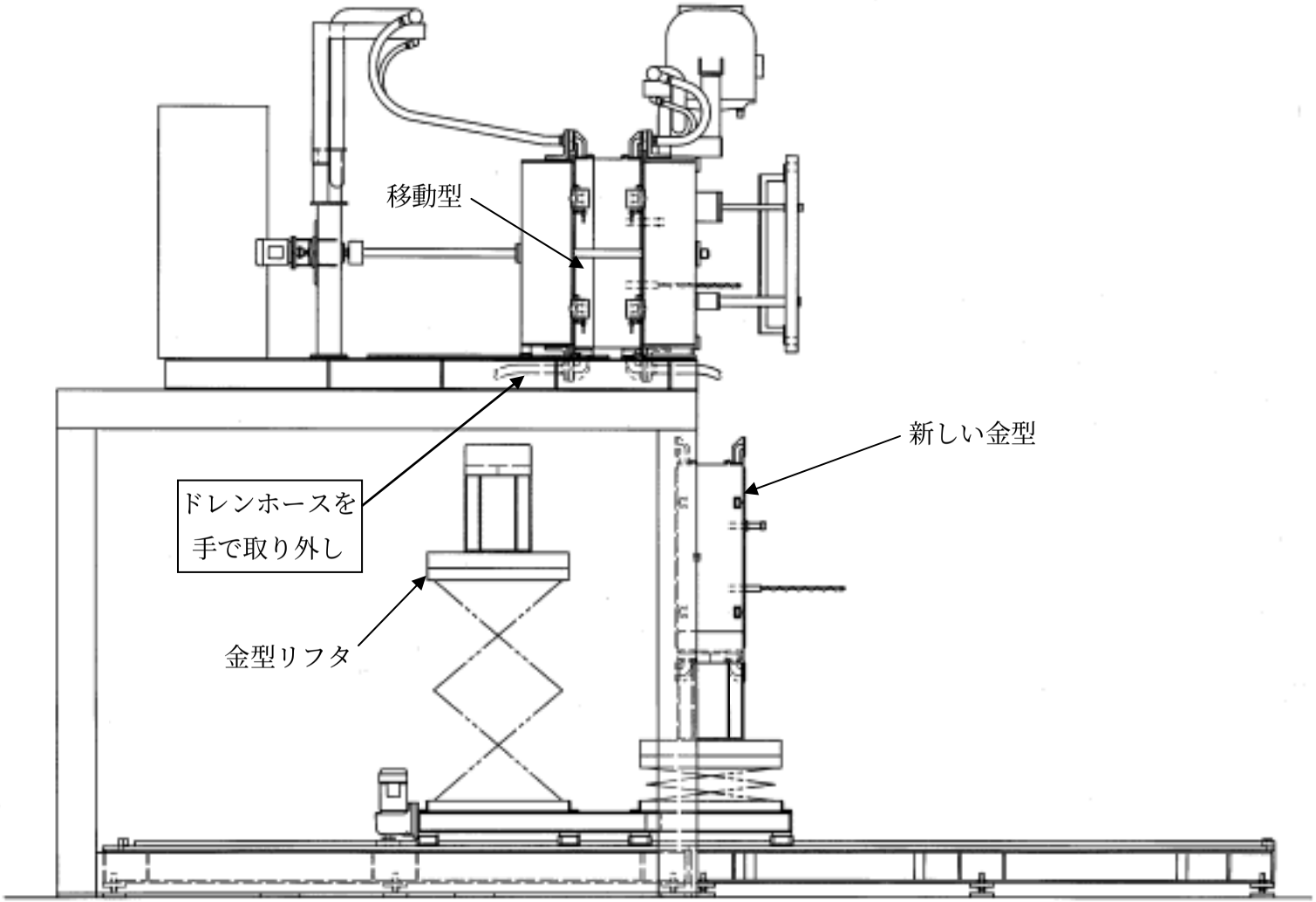


図３－13　表３－５金型交換手順４（移動型下部ドレンホースを手で取り外し）

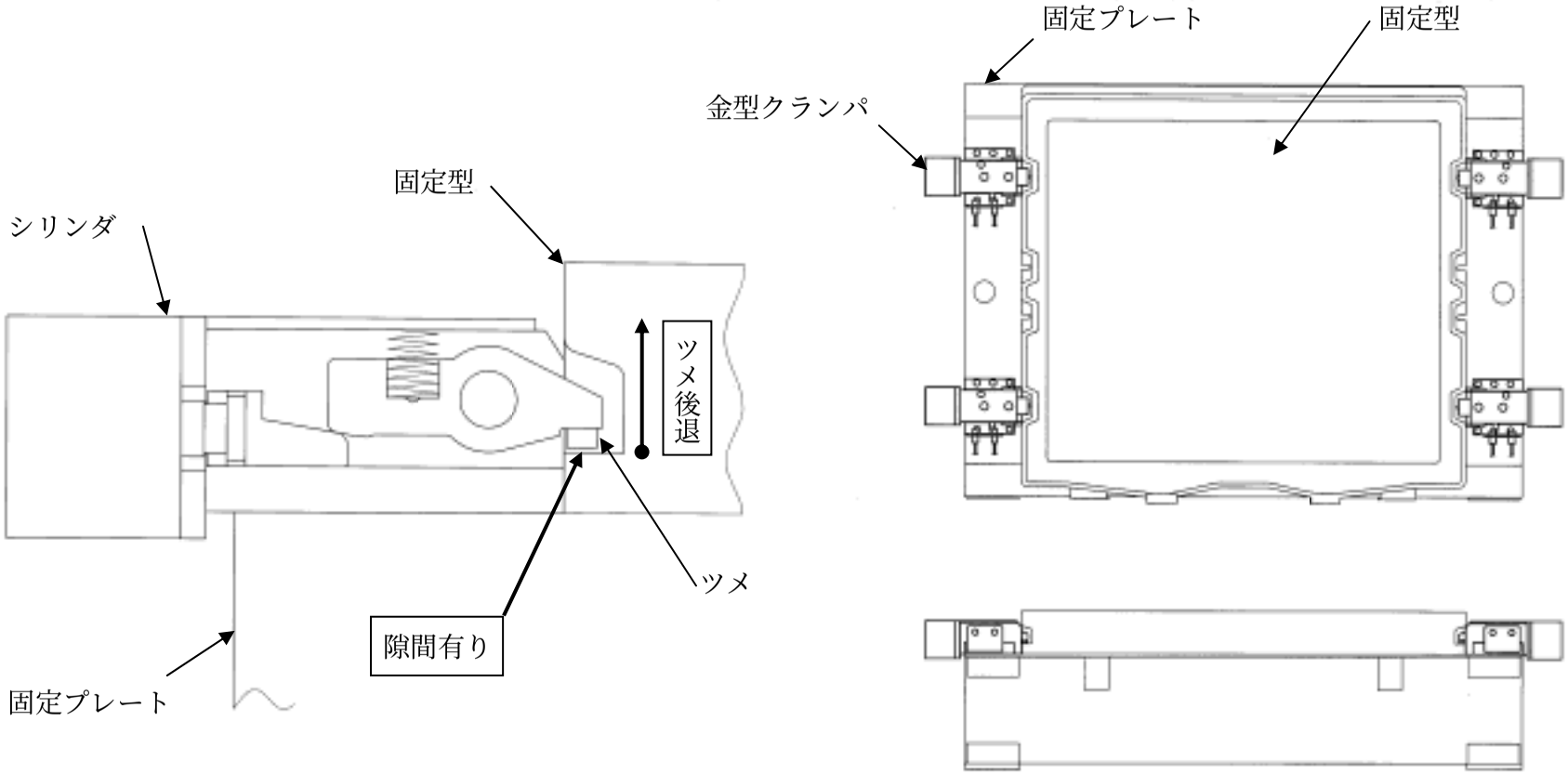


図３－14　表３－５金型交換手順５（固定型クランプ緩め）

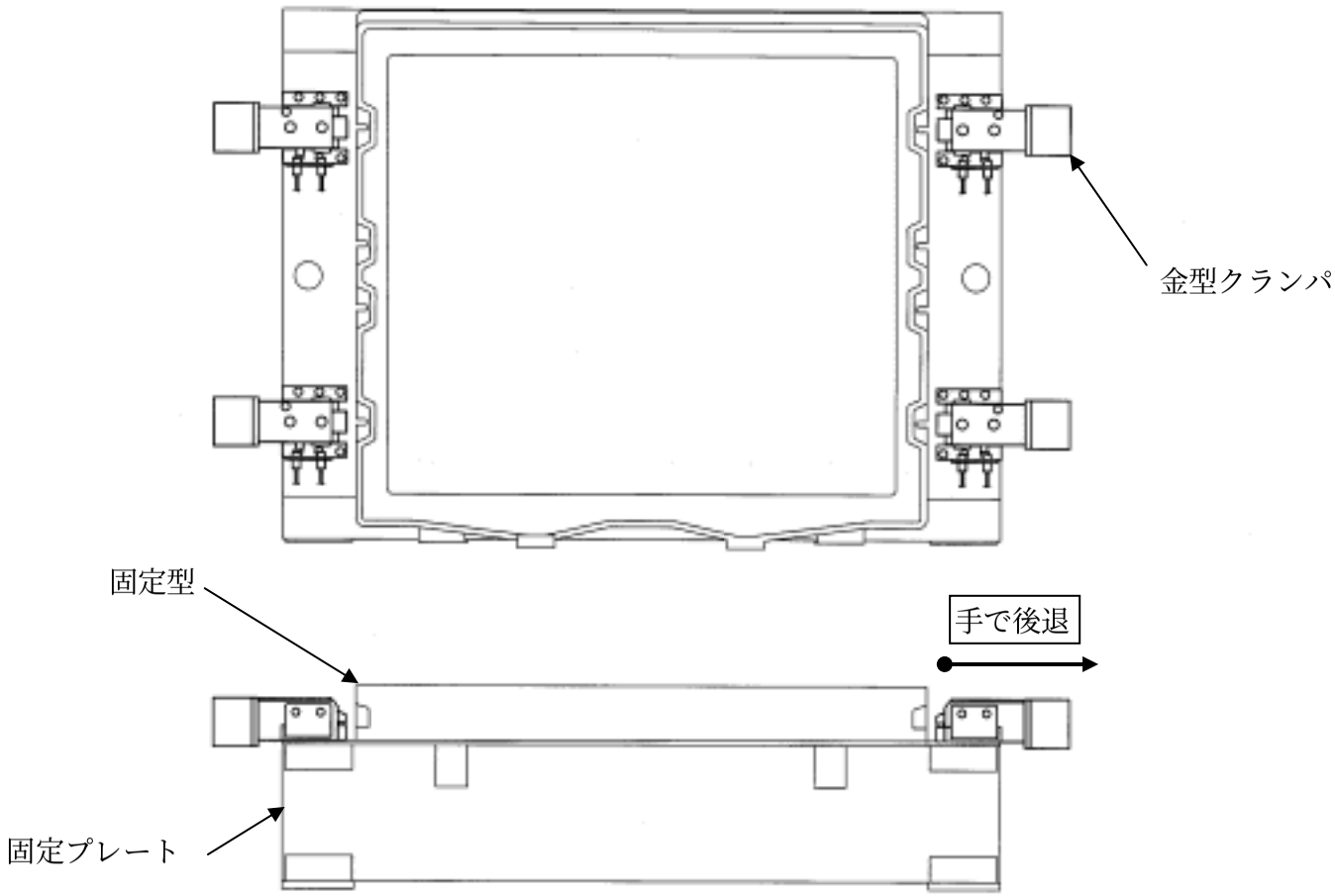


図３－15　表３－５金型交換手順６（固定型クランパを手で後退）

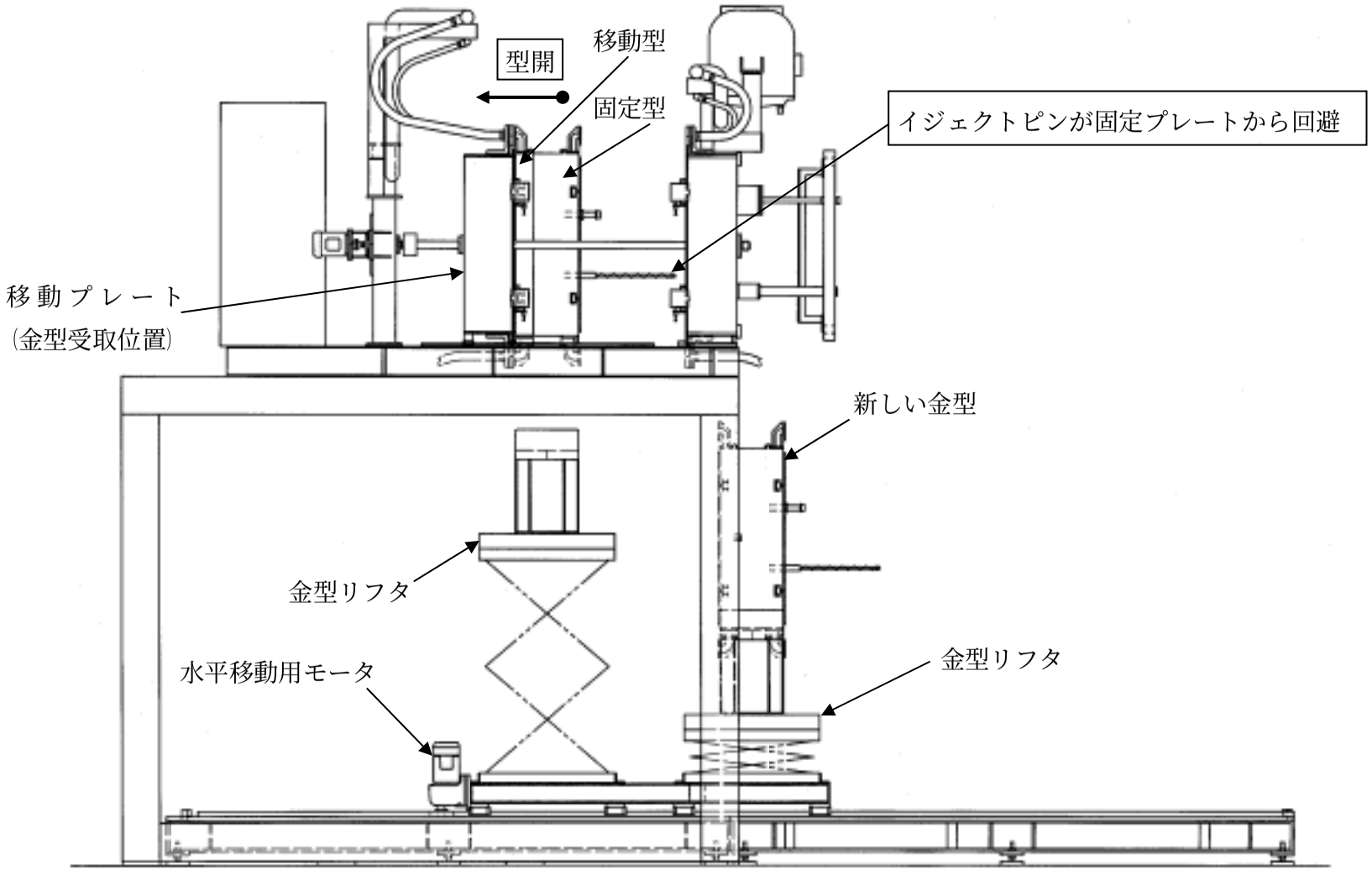


図３－16　表３－５金型交換手順７（金型受取(イジェクトピン回避)位置まで型開）

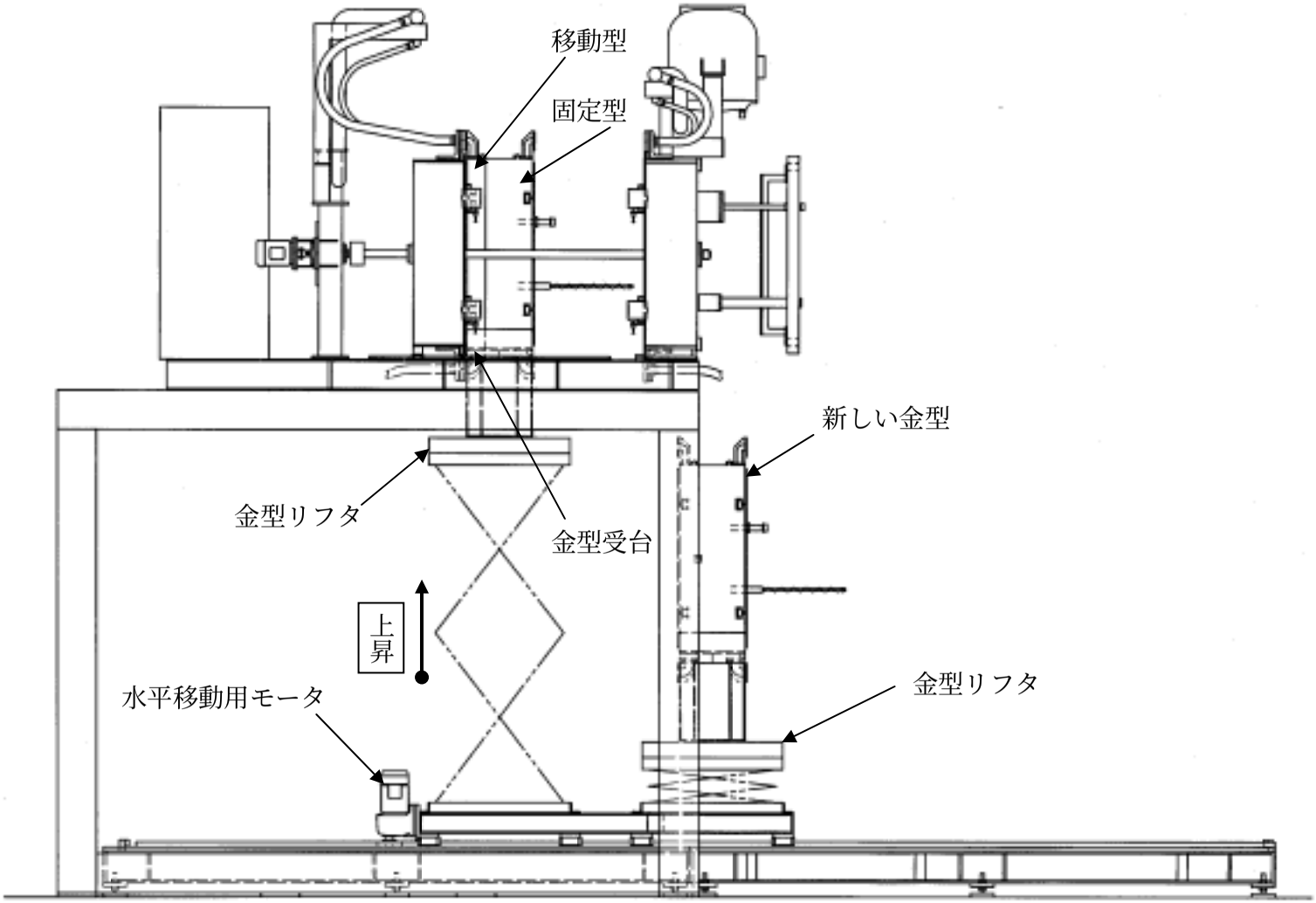


図３－17　表３－５金型交換手順８（金型受台高さまで金型リフタ上昇）

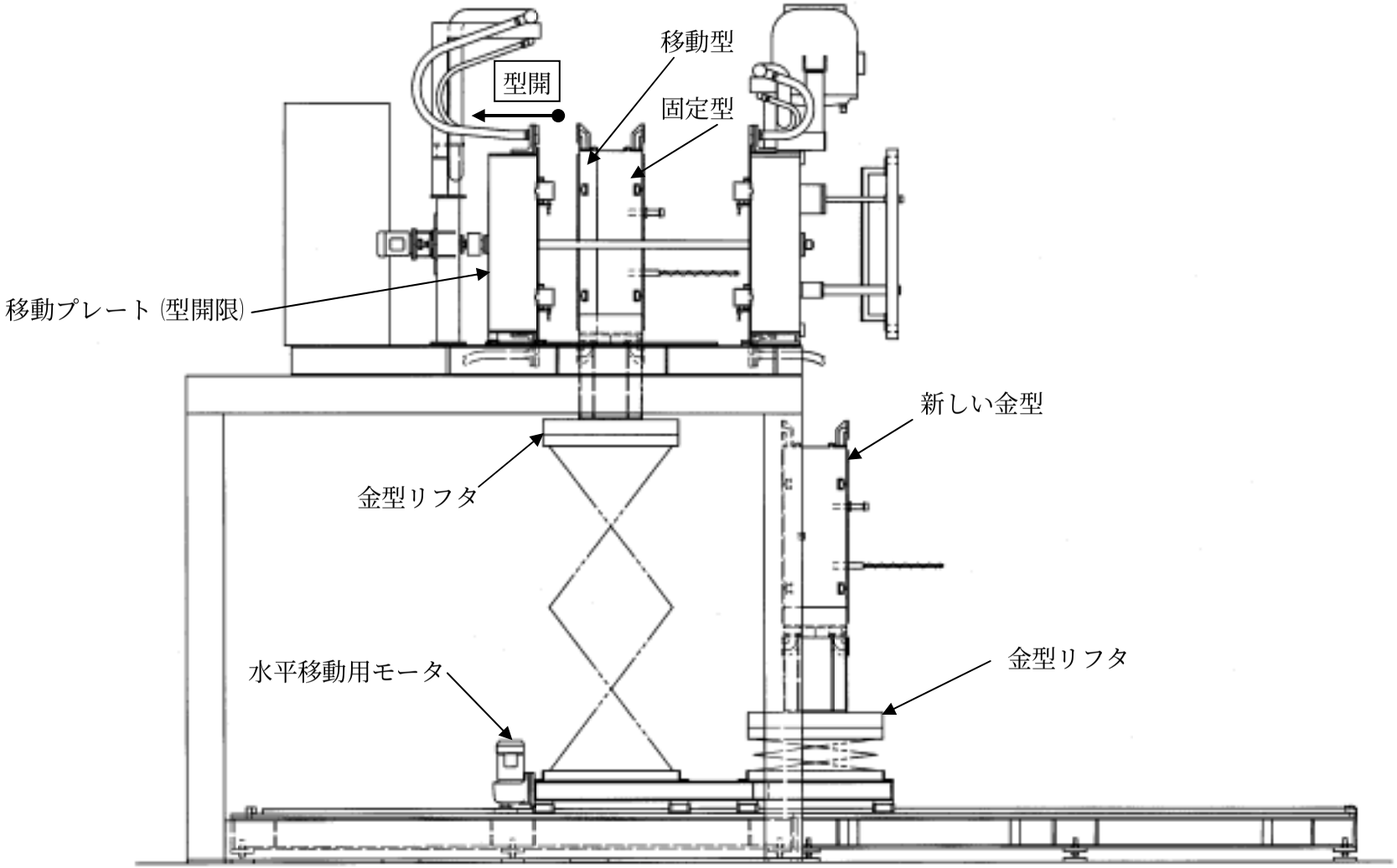


図３－18　表３－５金型交換手順12（型開限まで型開）

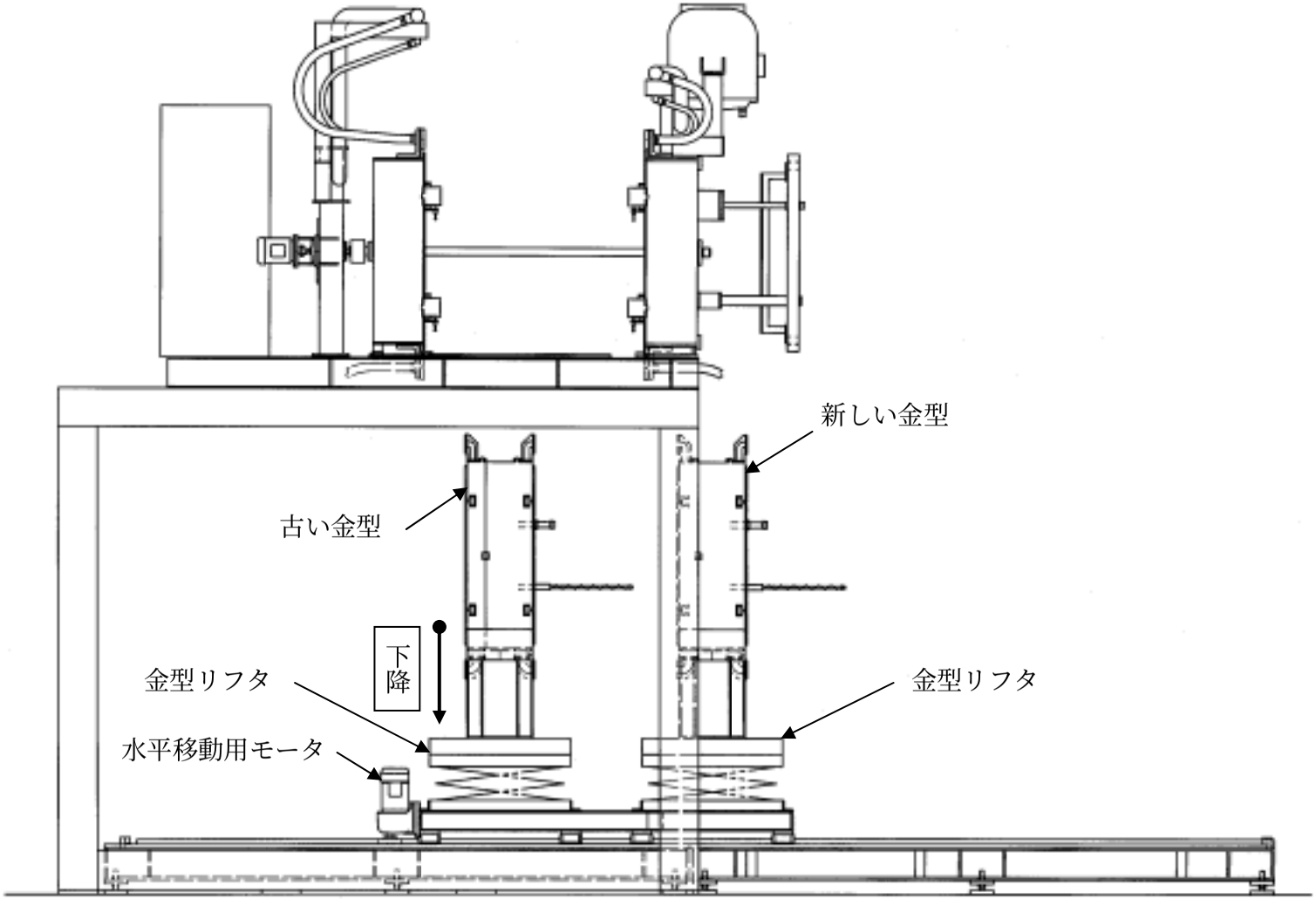


図３－19　表３－５金型交換手順13（金型リフタ下降）

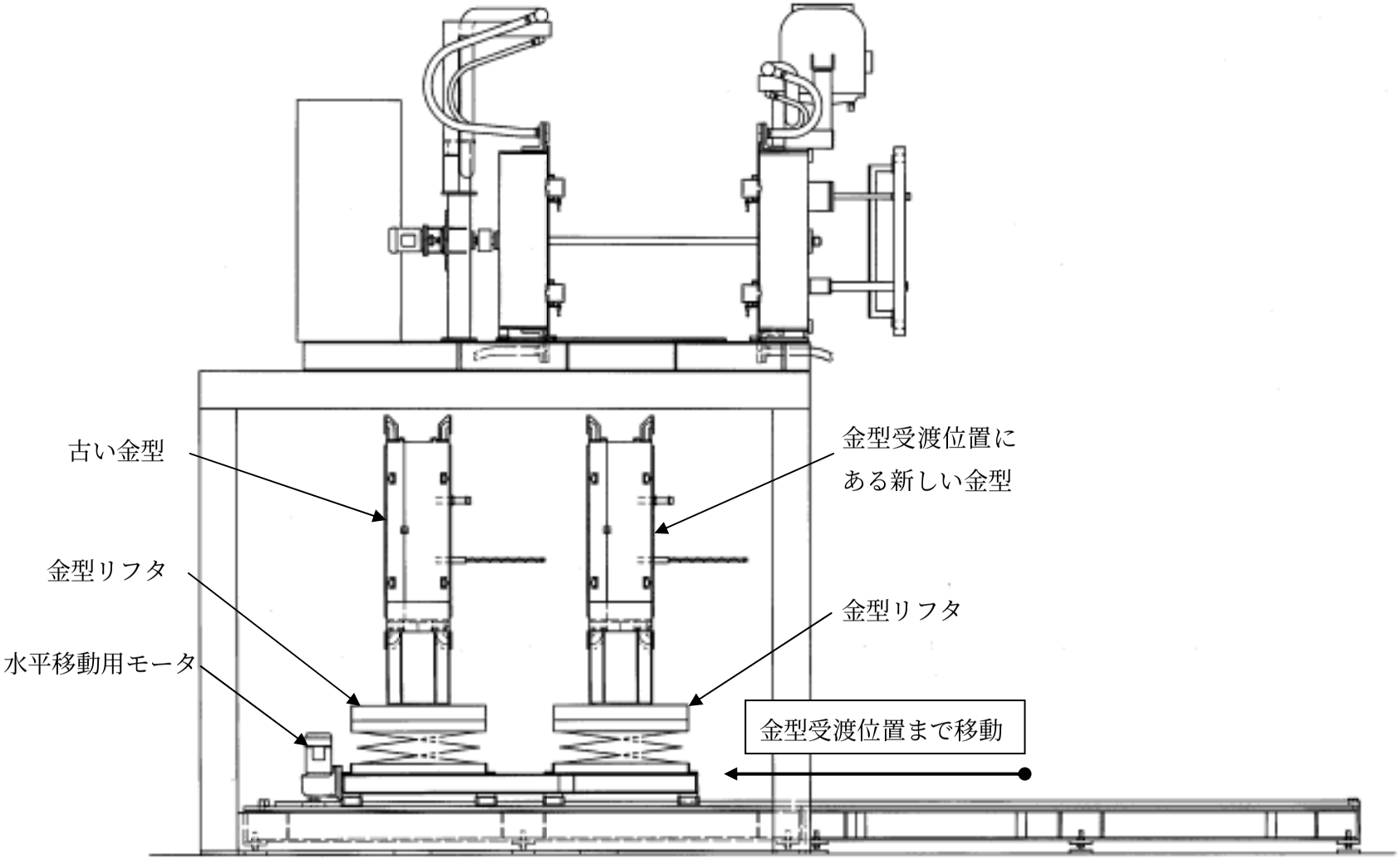


図３－20　表３－５金型交換手順14（新しい金型が載っている金型リフタを金型受渡(イジェクトピン回避)位置まで水平移動）

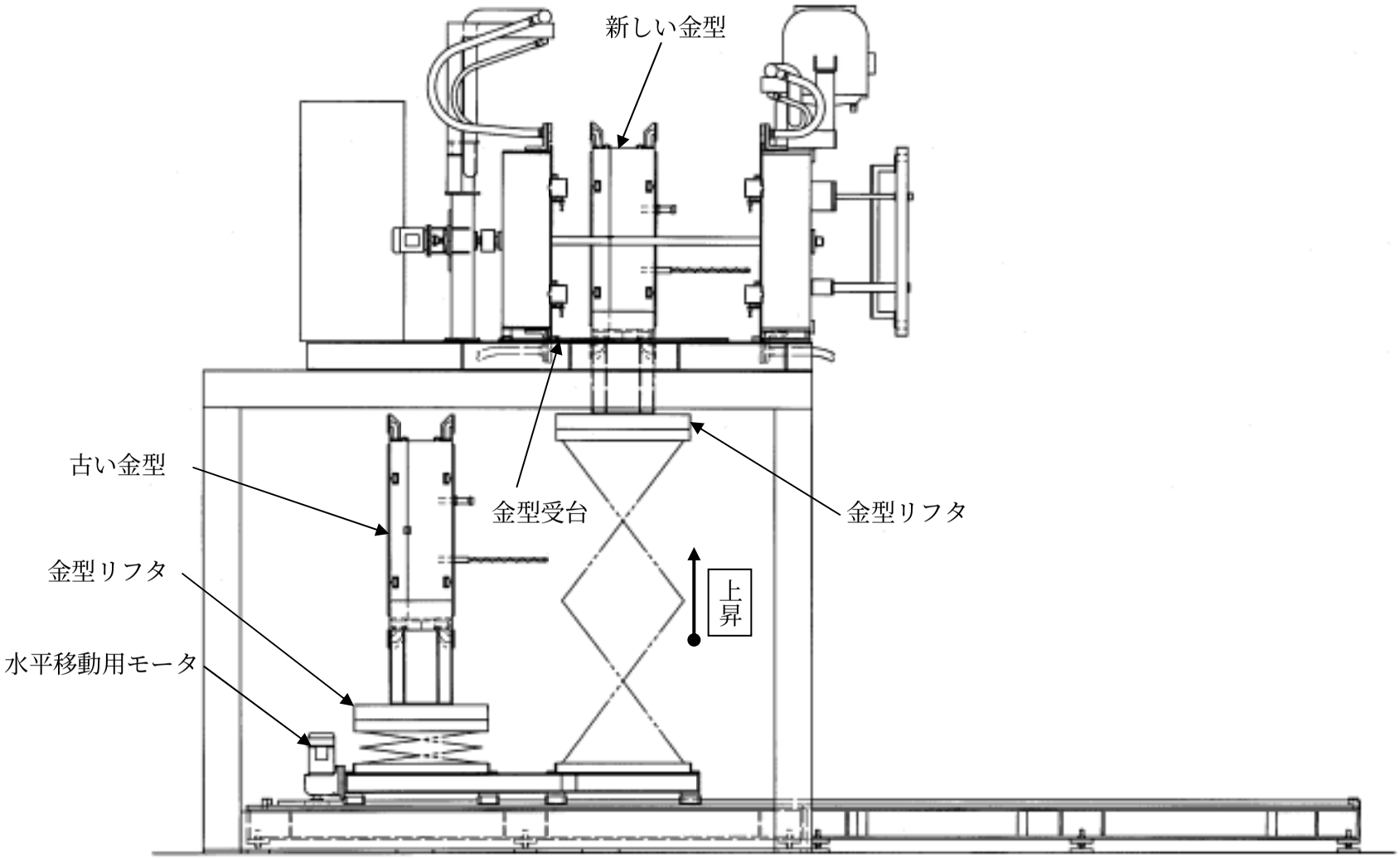


図３－21　表３－５金型交換手順15（新しい金型を金型リフタで金型受台より数 mm 上まで上昇）

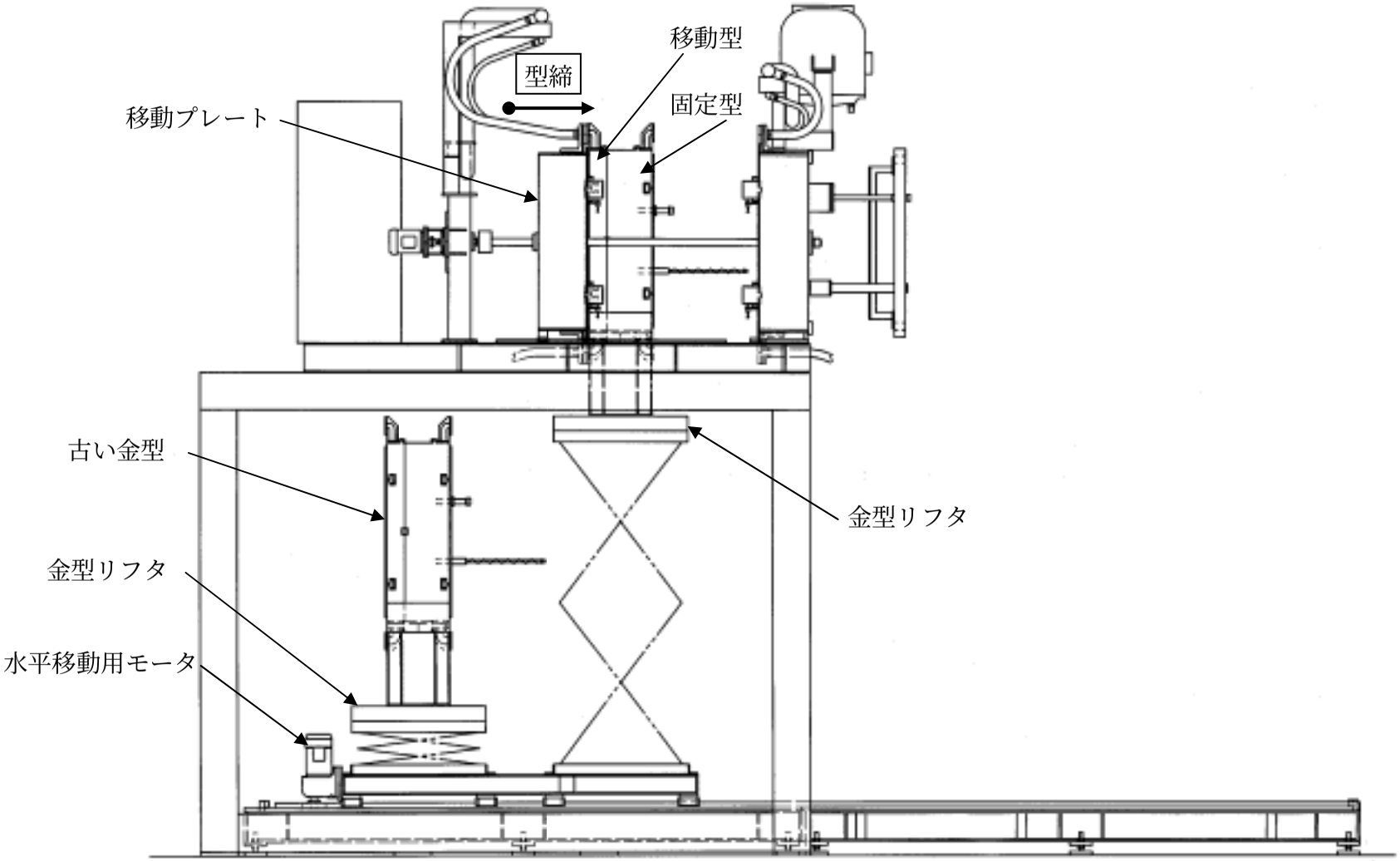


図３－22　表３－５金型交換手順16（移動プレートが移動型に接触するまで型締）

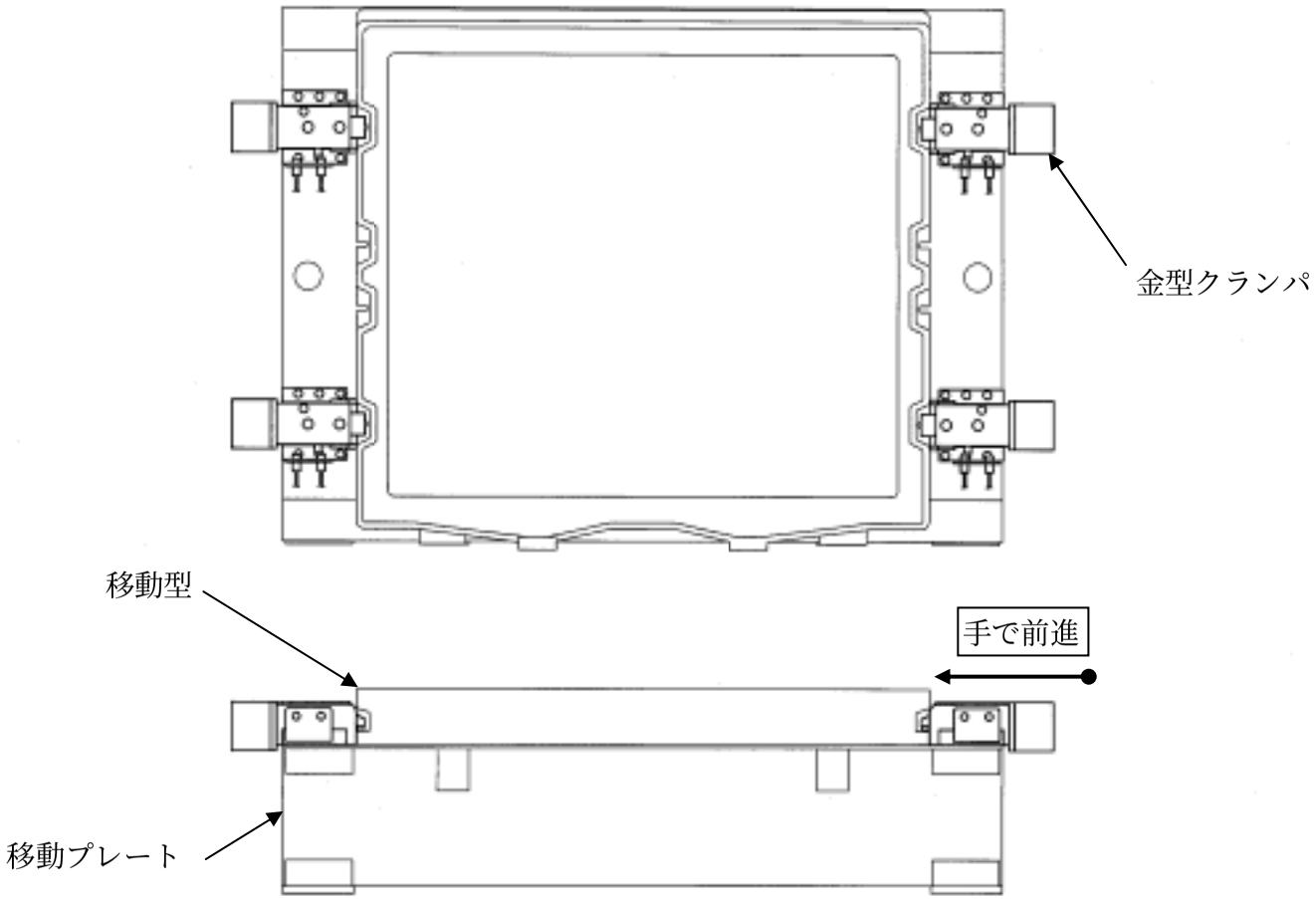
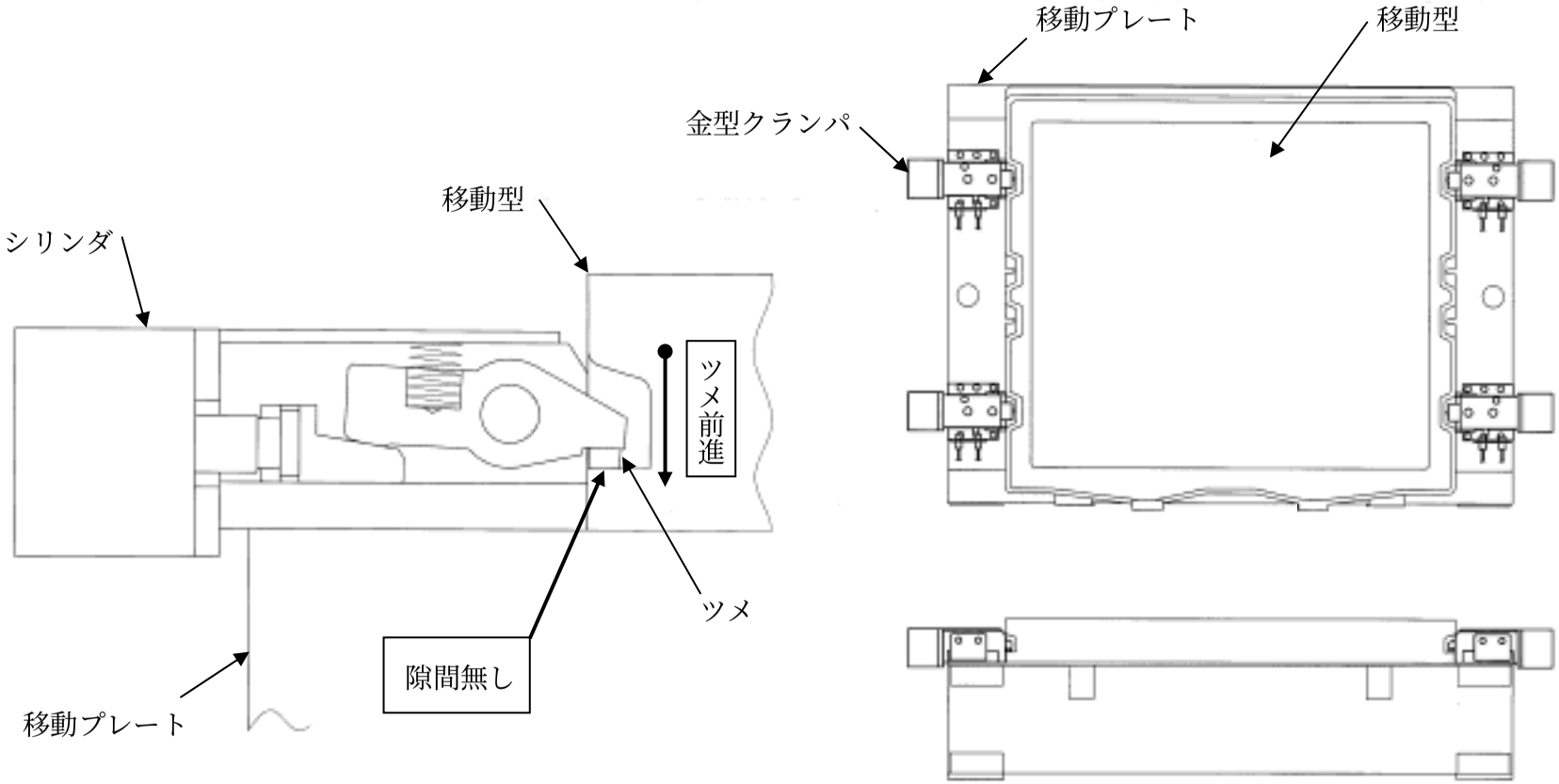


図３－23　表３－５金型交換手順18（移動型クランパを手で前進）



クランプ締めの状態

移動型クランパ前進限の状態

図３－24　表３－５金型交換手順19（移動型クランプ締め）

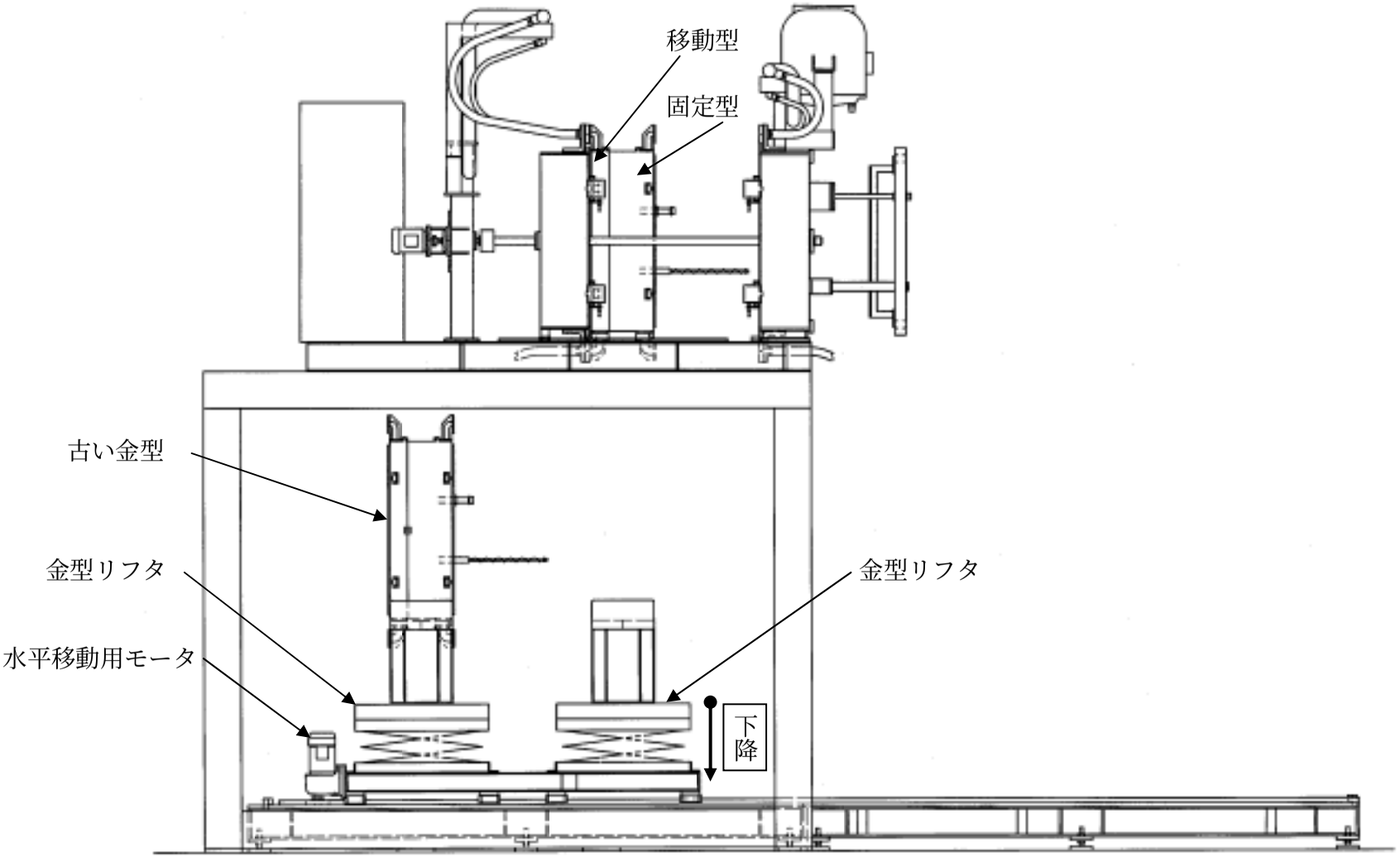


図３－25　表３－５金型交換手順20（金型リフタ下降）

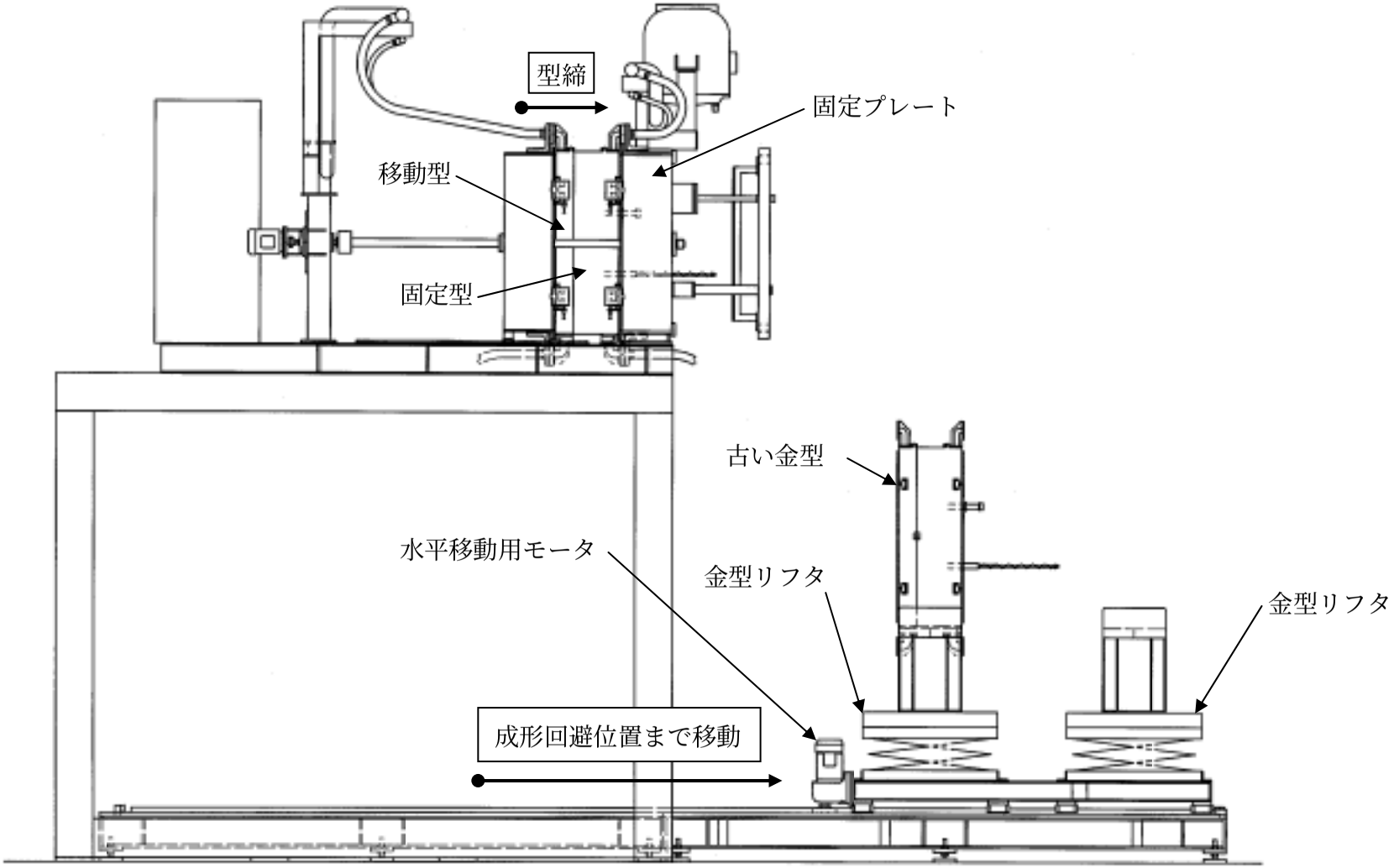


図３－26　表３－５金型交換手順21（固定型が固定プレートに接触するまで型締）

３．３．８　シングル段取りに向けての高度化

本スタディで試作した金型搬送装置の試作と評価を行ったが、更に改善し、シングル段取りを実現するための方策を述べる。

(1)　ワンタッチ用役接続構造

① 表３－５の手順４と25で、移動型下面のドレンホースを作業者が手で脱着した。このドレンホースをブロックＰに取り付けたままにしておけば脱着は不要であるが、型開閉時にストローク分動くため、金型搬送装置に載っている金型との干渉が問題になる。この干渉を回避することは十分可能であり、これを実施することにより、手順４と25での所要時間がゼロとなり、135秒の短縮となる。

② 図３－３で示したように、流体のシールとしてブロックＰにＯリングと特殊パッキンを二重に使用した。金型の脱着時にＯリングがブロックＤと擦れて損傷する可能性があるため、高価な特殊パッキンを併用したが、表３－５の手順９、11、17、22でその状況になる。これらの動作を次のように変更することによりＯリングの擦れを回避できる。

手順９：手順８で金型リフタの上昇停止位置が金型受台より下の場合、手順９の動作で金型が金型リフタまで落下し、ＯリングがブロックＤと擦れる。逆に、金型リフタの上昇停止が金型を押し上げている状態であれば、手順９の動作で金型がわずかだけ浮き上がる。これを回避するために２つの方法がある。手順８で金型リフタを上昇させる時、金型が丁度金型リフタに載ったところで上昇を停止させることである。しかし、このためには位置センサを追加し、金型下面と金型受台の上面との平行度を正確に出し、しかも、超低速で金型リフタを上昇させなければならず、現実的には非常に困難である。もう１つの方法は、合わさっている移動型と固定型の重心の位置以上まで移動プレートの金型受台の長さを長くすることである。そして、手順８で金型リフタを金型受台の高さより下で上昇を停止させても、手順９及び10の動作を行っても金型が落下しない。発泡樹脂成形の金型は固定型の方が移動型より厚いので、この長さまで長くすると金型受台は固定型まで達する。従って、成形作業での型締時に毎回固定型の下面と移動プレートの金型受台の上面が擦れることになる。また、離型での成形品突き落とし時に、成形品がこの受台に当たる可能性が出てくることになる。このように、後者の対策でも大きな問題が残り、十分な検討が必要である。

手順11：金型受台より数 mm 上まで金型リフタを上昇させる前に１mm 型開をしてＯリングをブロックＤから離し、金型リフタを数 mm 上昇さ

せる。この短所は移動型の下面と金型受台の上面が１mm の長さ擦れ合うことであるが、大きな問題にはならないと考えられる。このように動作を変更することにより、所要時間は約３秒増加する。

手順17：手順16で移動プレートが移動型に接触する１mm 手前まで型締し、手順17の動作を行った後で、移動プレートが移動型に接触するまで１mm 型締する。前述と同じ短所があり、所要時間は約３秒増加する。

手順22：金型が完全に金型受台に載っていない場合、この動作で金型が金型受台まで落下し、Ｏリングがブロック D と擦れる。これを回避するためには、手順９で上述したことと同じ２つの方法がある。手順17で金型リフタを下降させる時、金型が丁度金型受台に載ったところで下降を停止させることである。しかし、このためには位置センサを追加し、金型下面と金型受台の上面との平行度を正確に出し、しかも、超低速で金型リフタを下降させなければならず、現実的には非常に困難である。もう１つの方法は、合わさっている移動型と固定型の重心の位置以上まで移動プレートの金型受台の長さを長くすることである。そして、手順17で金型リフタを金型受台の高さより下まで下降させ、金型を金型受台に完全に移すことである。この短所等は前述と同じである。

（２）金型マスタフレームの脱着機構

① 表３－５の手順６、10、18、23では金型クランパを作業者が手で前後進させたが、エアシリンダで前後進させると、合計で約50秒短縮できる。金型クランパが装着されている場所は蒸気等で腐食しやすい所であるので、腐食や異物で摺動不良が起きないように対策を講じておけば、エアシリンダでの前後進は十分可能である。

（３）発泡粒子原料の切り替え接続

① 本スタディでは、３.２.４項で述べた理由で、発泡原料切り替えの試作を行わなかった。発泡粒子原料切り替えでの時間短縮のためには、ユーザ側の比重も大きいため、ユーザとともにこの課題に取り組まない限り、10分未満での金型交換は不可能である。

② 表３－５の手順３と26では、クイック充填器の脱着を作業者が手で行った。この所要時間はかなり大きい。作業者の手によらない、商業ベースに乗る装置の開発が必要である。

（４）金型搬送装置

① 表３－５の手順２と27では、固定型と移動型を固定するボルトの脱着を作業者が手で行った。このボルトは金型を搬送する時に固定型と移動型が離れないよう

に、また、左右及び上下にずれないようにするためである。これを回避するためには、固定型と移動型との間に長めのガイドピンを設ければよく、金型側で解決できる。これを実施することにより、手順２と27の所要時間はゼロになり、55秒の時間短縮となる。

以上、さほど困難なく実現可能なこれらの方策を実施すると、合計で約240秒の短縮が可能で、金型交換時間を約410秒（６分50秒）にすることができ、いわゆる“シングル段取り”が可能となる。

３.４ まとめ

（１）発泡樹脂成形用金型の自動交換システムの概念設計

発泡樹脂ビーズを金型で成形する発泡樹脂成形では、次のような特徴を有し、この点において射出成形など他の樹脂成形と異なる。

・マスタフレームの中にインサイド金型がある二重構造の金型を使用する
・蒸気、冷却水、エア等の用役配管が多数ある
・金型に数箇所から材料を注入する
・金型、成形機の剛性が大きくない

これらの特徴を踏まえ、発泡樹脂成形用金型のワンタッチ交換方式等、容易に脱着し交換可能なシステム全体の概念設計を行い、予め共通マスタフレームにインサイド金型を装着した金型の成形機への脱着機構を検討した。

試作した発泡樹脂成形機は、上層に金型交換システムを有する成形機本体を、下層に金型搬送装置を搭載する方式とした。

（２）ワンタッチ用役接続構造

ワンタッチ用役接続用ブロックをダイプレートと金型の上面と下面に装着し、金型をダイプレートに固定した時点で、パッキンにより両面間のシールをして用役接続ができる方法とした。Ｏリングの損傷の可能性を考慮して、Ｏリングの外側に特殊パッキンも装着しておいた。更に、解析ソフトにより、このブロック部の変形を解析し、パッキン部からの流体の漏れがない設計を行った。

（３）金型マスタフレームの脱着機構

くさび機構を持った金型クランプ装置をダイプレートに装着し、エアシリンダの前進により、金型をダイプレートにクランプする方法とし、この金型クランパの前後移動は手で行うこととした。

（４）型の開閉ストロークの調整機構を有する電動駆動の開閉装置

ディスタンスピースを使用せずに、全ての厚さのマスタフレームに対応でき、しかも、温度や速度が変化しても移動プレートの停止精度が良い型開閉装置を検

討し、設計を行った。全ての厚さのマスタフレームに対して、ボールネジを全型開閉ストロークに対応する長さとした。停止精度を向上させるためには電動が最適で、トルク伝達効率に優れているボールネジをモータで回転し、ロータリエンコーダを使用して正確な位置制御を行うこととした。なお、作動油を使用しないため、クリーンな環境になる。

（５）発泡粒子原料の切り替え接続

充填器のホルダを常時金型に装着しておいて、充填器本体をホルダから抜き差しする方式とした。原料と圧縮空気のホースは充填器本体に取り付け、充填機の脱着時にはこれらのホースは充填器本体に取り付けたままで、これにより、脱着時間を大幅に削減した。

（６）取り出しピンの装着・接続

従来機で行われている前シャフトと後シャフトとの接続も、後シャフトとイジェクト板との接続も行わなくてもいい方法を検討し、設計を行った。前シャフトと後シャフトを一体物とし、その一体の取出ピンとイジェクト板を接続せずに、イジェクト板が前進する時は取出ピンを押し、イジェクト板が後退する時は取出ピンに装着した圧縮コイルバネで取出ピンが戻るようにした。

（７）金型搬送装置

搬送の工程を全て自動化し、操作パネルで行えるように検討し、設計を行った。金型を載せる２個の金型リフタがあり、機械の長手方向にラック・ピニオンによりモータで水平移動し、上下方向にモータによりパンタグラフ式に上昇・下降する。金型リフタの水平移動と上下移動の位置検知のため近接スイッチを設けており、モータ駆動制御とともに、正確な位置での停止を可能にする方式とした。

（８）金型交換装置の試作と評価

金型交換システムを搭載する発泡樹脂成形機を製作し、金型交換システムの全てが問題なく動作することを確認した。

金型交換時間の実測値は 651 秒となり、“１人、10 分程度”を達成し、シングル段取りに見通しをつけた。また、高熱・危険作業を廃し、作動に油を使わないクリーンなシステムとした。これにより安全、確実、容易にして人員と時間を大幅に削減可能な金型自動交換システムの構築を達成できた。

４　スタディの今後の課題及び展開

本スタディでの金型交換作業のうち、作業者の手作業によるものに時間を要した。これらの手作業を機械化したり、簡素化することが、課題として残ったが、３.３.８で述べたように、さほど困難なく実現できる対策を実施すれば、金型交換時間をさらに短縮し、いわゆる“シングル段取り”を実現できる。

本スタディでの試作結果を元に、金型交換システムを有する成形機を製品化する予

定である。

なお、発泡樹脂成形機の新規導入時のみならず、従来機への活用など、ユーザが導入しやすいように、成形機本体と金型搬送システムを個別に導入することも可能にして、普及に努める。

― 禁無断転載 ―

システム開発　１８－Ｆ－４

発泡樹脂成形用金型交換システムの開発に関する
フィージビリティスタディ報告書
（ 要　旨 ）

平成１９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　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