

ダイカストマシンの技術史 — その歴史は活字鑄造機から始まった —

(社)日本ダイカスト協会 西 直 美

1. はじめに

ダイカスト技術が日本に導入されてから約90年が経過し、自動車、電機・通信機器、一般機械などの様々な産業の中で、ダイカストは不可欠な素形材産業の一つとして成長した。我が国のダイカスト生産量は、2006年には1,122,295 tであり、2002年以降は5年連続で過去最高を記録するに至った。50年前の1956年には10,457 tであったから、50年で約100倍以上生産量が増加したことになる。

この間に様々な研究及び技術開発が行われ品質・生産性の向上が図られてきた。特に近年のダイカストマシンの進歩発展には目覚ましいものがあり、ダイカストの生産量向上に大きく貢献してきた。今回は、特集号として「世界をリードする国産ダイカストマシンの技術革新」と題して、国内の主なダイカストマシンメーカーにその技術を紹介頂くことになった。

しばしば言われることではあるが、多くの技術の発展には「歴史的な繰り返し」が見られる。ダイカスト技術においても例外ではない。例えばセミソリッドダイカスト法は、ポーラックマシンを用いてダイカストしていた1930年代には真鍮で、1940年代にはアルミニウム合金で既に実施されていた。これは、後で詳細に述べるが、ダイカストマシンの性能上セミソリッドでないと鑄造できなかったためである。しかし、横型のダイカストマシンの開発・普及とともに熔融状態でのダイカストが可能になり使われなくなった。そして、科学技術の進歩と高品質化への新たなニーズの発生により、1990年後半に再登場し、新たな発展を遂げようとしている。このように、技術は歴史的に繰り返しながら発達することか

ら、その変遷をたどることは、次代の進むべき方向性を見出す上で大いに参考になる。

そこで、ここでは今日に至るまでのダイカストマシンの発展経緯について著者なりにまとめたので、ここに紹介する。

2. 海外でのダイカストマシンの変遷

ダイカストの起源については様々な説があり、19世紀初頭に欧州やアメリカで始まり最初は活字や弾丸が製造されたとされる。しかし、残念ながら明確な記録は残されていない。C. O. Herbによると、記録として確かなダイカスト起源は、1838年にアメリカのD. Bruceが手動式の活字鑄造機を発明したことに始まる¹⁾。図1にアメリカの特許に掲載されているD. Bruceの活字鑄造機を示す²⁾。ホットチャンバー方式で、その機構は手回し式のハンドルを一回転させる間に、型締め、活字合金の鑄込み、型開きまでの動作が完了する仕組みになっている。それまでは、ハンドモールド法と呼ばれ、柄杓で一本ずつ鑄型に流し込む方法が行われていたが、活字鑄造機の発明により短時間に大量に活字を製造することが可能になった。その後も様々な活字鑄造機が発明された。そのいくつかを紹介すると、1849年にJ. J. Struggiss³⁾ (図2)、

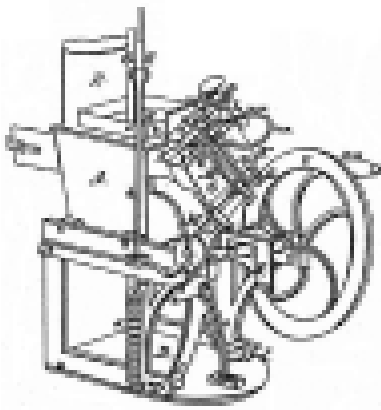


図1 1838年にD. Bruceが発明した活字鑄造機²⁾

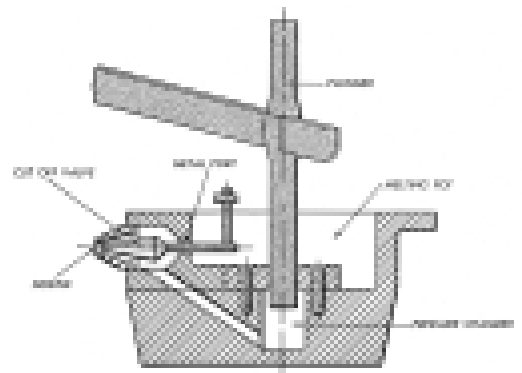


図2 1849年にJ. J. Struggissが発明した活字鑄造機³⁾

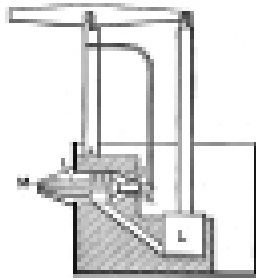


図3 1856年にE. Peluzeが
発明した活字鋳造機³⁾

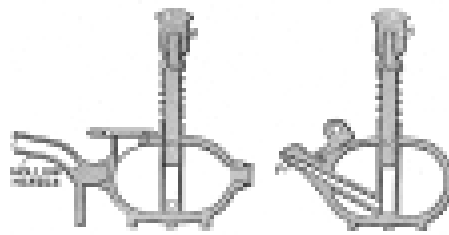


図4 1872年に作られた
小型手動活字鋳造機³⁾

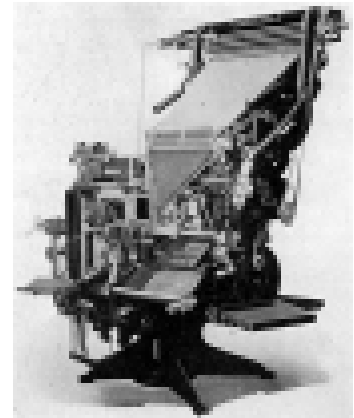


写真1 1885年にO. Mergentalerに
よって発明されたライノタイプ
活字鋳造機⁴⁾

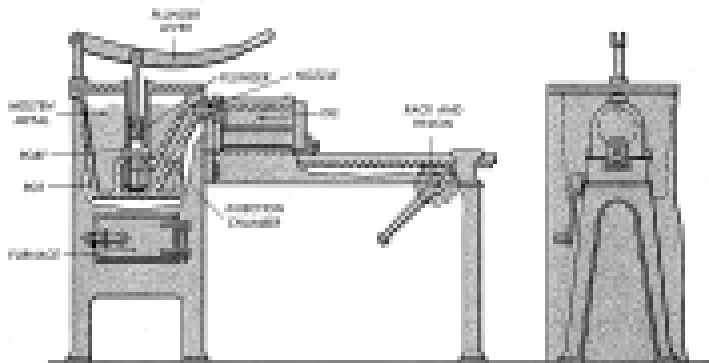


図5 1877年にH. B. Dusenburyが
発明した一般鋳物用ダイカストマシン³⁾

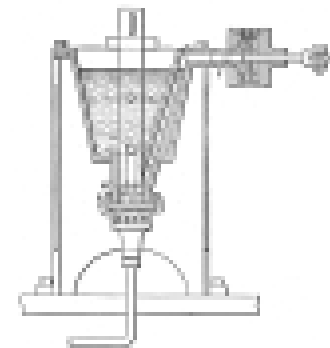


図6 1892年にC. W. Weissが発明
したダイカストマシン^{1), 6)}

1856年にE. Peluze³⁾ら(図3)、そして1872年に発明者名不明であるがスプリングを利用した簡単な活字鋳造機(図4)などが登場した。活字鋳造機はその後改良が加えられ、19世紀末にはモノタイプや写真1に示すようなライノタイプの鋳造機として発達した⁴⁾。

1877年にはH. B. Dusenburyらが活字鋳造機を一般鋳物(最初はベアリングを鋳造)に適用した図5に示すような鋳造機の特許を取得した⁵⁾。また、1892年にはC. W. Weissが図6に示すようなダイカストマシンの特許を取得し、ダイカストが広まることとなった⁶⁾。これらのダイカストマシンはいずれも溶湯中に加圧室(チャンバー)があり、プランジャーにより溶湯を金型に射出する方式で、現在のホットチャンバーマシンと同様な機構である。

1900年代になると実用的な多くのダイカストマシンが開発された。表1に1940頃までに登場した主なダイカストマシンを、動作方式、動力方式に分類して示す⁷⁾。また、()内には加圧室方式を示す。動力方式には溶湯の射出動力の種類で分類し、手動プランジャー式、空圧プランジャー式、水圧プランジャー式、空気圧式

(Pneumatic)がある。また、動作方式は金型の開閉方式で示し、垂直方向と水平方向に分類される。加圧室方式は、ホットチャンバー式、グースネック式、コールドチャンバー式がある。以下にこれらについて簡単に紹介する。

1905年にアメリカのH. H. Doehlerが、活字鋳造機

表1 1940年以前の海外でのダイカストマシンの分類

		動作方式	
		垂直開閉式	水平開閉式
動力方式	手動プランジャー式	Doehler-Lever(H)	Soss(H)
	空気吹込式	Van Wagner(H) Eckert-Daguss(H) Rohrbach(G)	Madison-Kipp No.5(G) Split Sprue gate type(G) Center Gate type(G)
	空圧プランジャー式	Doehler-Plunger(H) Electronmetal(H)	Kippcaster No.115(H) Shultz No.16(H) Newton-New Haven(H)
	水圧プランジャー式	Eckert-Meguss(C) Electronmetal(H)	New Lester HHP(H) Reed-Prentice(H) Eckert-Preguss(C) Polak(C)

(H): ホットチャンバー式, (C): コールドチャンバー式,
(G): グースネック式

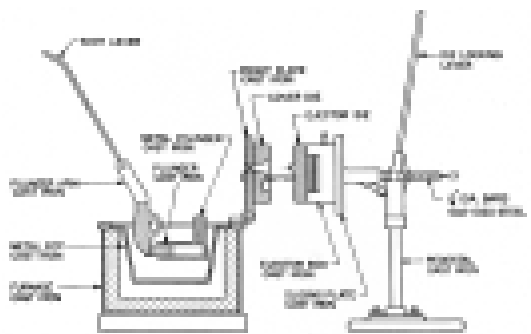


図7 1905年にH. H. Doehlerが発明した手動式プランジャーダイカストマシン⁸⁾

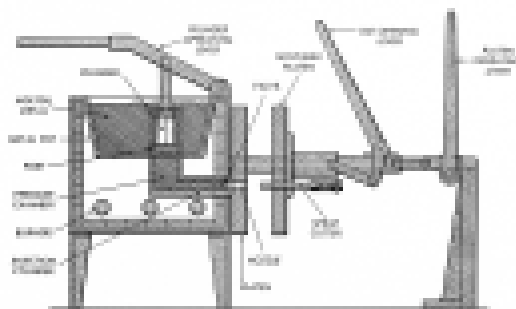


図8 J. Sossの発明した手動式ダイカストマシン³⁾

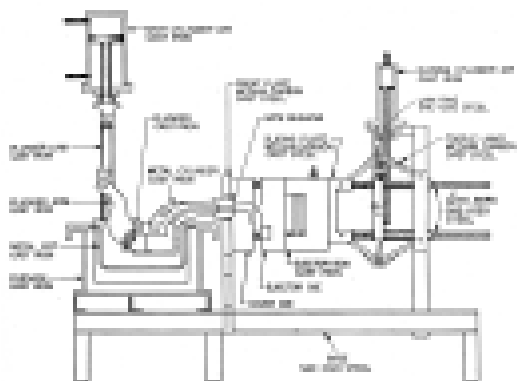


図9 1917年にH. H. Doehlerが発明した空圧式プランジャーダイカストマシン⁸⁾

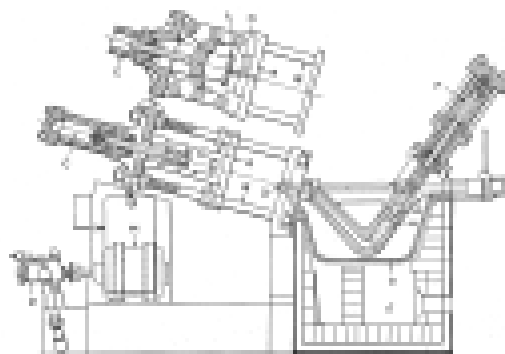


図10 Reed-Prentice社の水圧式ホットチャンバーダイカストマシン¹⁾

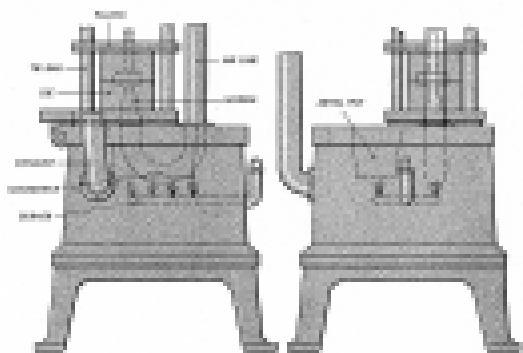


図11 1907年にB. E. Van Wagnerにより発明された空圧式プランジャーダイカストマシン³⁾

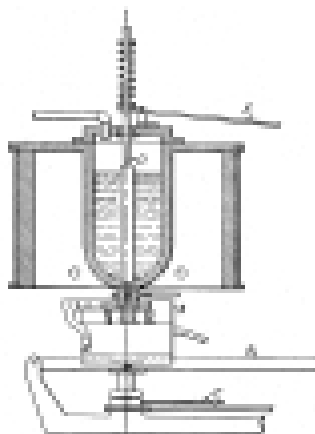


図12 H. H. Doehlerが1914年に導入した初期の空圧ダイカストマシン⁴⁾

ンジャーの駆動を空圧で行う方式（空圧プランジャー式）のダイカストマシンの開発を行った⁸⁾。これにより、ダイカストの作業性を大幅に向上させることができた。その後、Kippcaster No.115、Shultz No.16、Newton-New Havenといった空圧プランジャー式ホットチャンバーマシンが開発された¹⁰⁾。さらに、Reed-Prenticeが図10に示

すような水圧式の自動式ホットチャンバーマシンを開発した¹⁾。
の原理を応用してダイカストマシンの特許を取得した。その原理は、図7⁷⁾に示すように加圧室が溶湯の中に浸漬されており、長いレバーを手動で操作してプランジャーにより溶湯が射出される。世界で初めて市販された手動式プランジャー機は、図8³⁾に示す水平動作方式のSoss式ダイカストマシンで、後述するように1917年に日本にも輸入された¹⁰⁾。

ダイカストマシンの駆動方式は、初期段階では手動式であったが1917年にH. H. Doehlerは、図7の手動式プランジャーマシンを改良して図9に示すようなプラ

ンジャーの駆動を空圧で行う方式（空圧プランジャー式）のダイカストマシンの開発を行った⁸⁾。これにより、ダイカストの作業性を大幅に向上させることができた。その後、Kippcaster No.115、Shultz No.16、Newton-New Havenといった空圧プランジャー式ホットチャンバーマシンが開発された¹⁰⁾。さらに、Reed-Prenticeが図10に示すような水圧式の自動式ホットチャンバーマシンを開発した¹⁾。

1907年に図11にE. B. Van Wagnerにより空圧式ダイカストマシンが発明された³⁾。これは、溶湯の射出にはプランジャーを用いず、ゲースネック内に手汲みで注湯した溶湯をエアライン（Air line）より空気を吹き込んでノズルより金型キャビティに射出するものである。空気吹込み式あるいは圧搾空気吹込み式とも呼ばれる。その後、図12に示す空圧ダイカストマシンが開発され、H. H. Doehlerが1914年に導入した。金

型の(A)の上部に炉が置かれ、バルブ(D)によってシールされている。上部のパイプより空気圧を溶湯面にかけて後、レバー(E)を下げることで、るつぼ下部より溶湯が金型(A)に射出される。さらに、空圧ダイカストマシンは改良が加えられ、図13⁴⁾や図14⁸⁾に示すようなゲースネック方式の空圧ダイカストマシンが開発された。メルティングポット内に可動式のゲースネックが配置され、ノズルを溶湯中に浸漬してゲースネック内に所定の溶湯を流入させた後、ノズルを金型に接触させ、ゲースネック内に圧搾空気を送り込み溶湯を金型キャビティに射出する。図13のように金型の分割面から溶湯を射出するSplit-sprue gate方式と図14のように金型の背面から射出するCenter gate方式の2種類がある。ゲースネックのノズルと金型とのシールが難しく、空気圧はせいぜい1.7～3.5 MPa程度であった。

これらのダイカストマシンの登場で、アルミニウム合金ダイカストの生産が可能になり、1915年にH.H.Doehlerがアルミニウム合金ダイカストの生産に初めて成功した⁸⁾。これは、それまでのプランジャー方式のダイカストマシンでは、アルミニウム合金ダ

イカストを鑄造する際にプランジャー及びシリンダーが溶融アルミニウムによって浸食・溶解し、作動できなくなるためである。図15に示すようにスウェーデンで発明されたプランジャーを用いてアルミニウム合金をダイカスト使用とした例もあるが実用化には至らなかったようである⁴⁾。アイデアは大変ユニークなので簡単に紹介する。図15のU字形のチャンバー内(B)には溶融鉛を満たしておき、上部のメルティングポット(D)のアルミニウム合金溶湯をバルブ(C)の開放により溶融鉛の上部に移動させ、プランジャー(A)を動かしてアルミニウム合金溶湯のみをノズルから金型キャビティに射出しようとするものである。

ゲースネック式空圧ダイカストマシンは、Eckert、Rohrbach、Madison-Kippでも開発され、後述するように日本にも輸入された¹⁰⁾。しかし、これらのダイカストマシンは、鉄による溶湯の汚染の問題と鑄造圧力が低く品質が十分でないため、アルミニウム合金ダイカストは後に登場するコールドチャンバー方式に置き換わることになった。

1923年チェコスロバキアのPolakは図16に示すコー

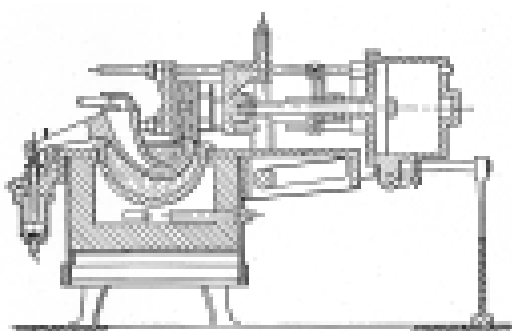


図13 Split-sprue gat方式ゲースネック空圧ダイカストマシン⁴⁾

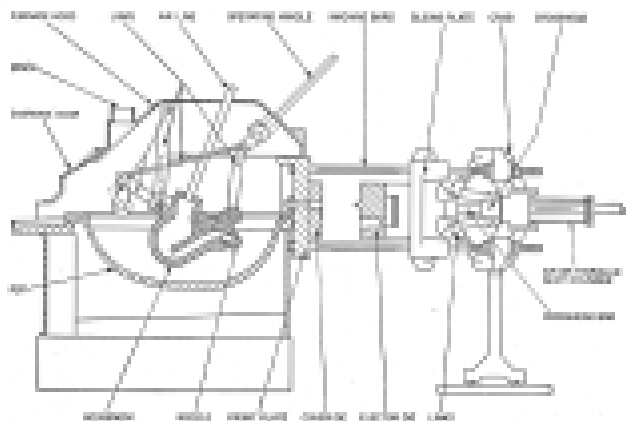


図14 Center-gate方式のゲースネック空圧ダイカストマシン⁷⁾

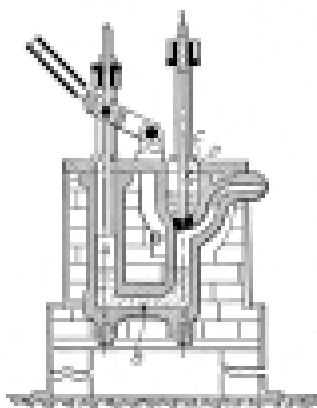


図15 アルミニウム合金ダイカスト用プランジャー式ダイカストマシン⁴⁾

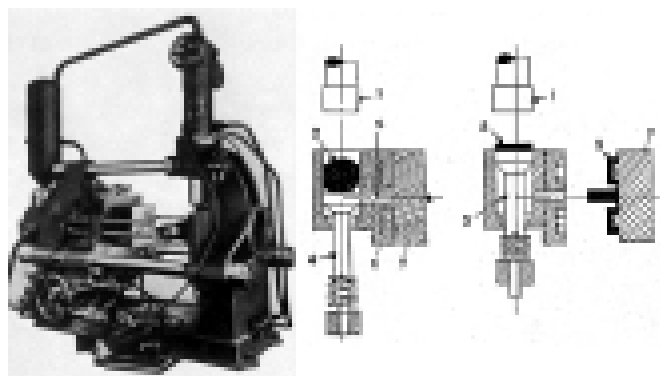


図16 Polakダイカストマシンとその射出機構原理図^{9), 10)}

ルドチャンバーの水圧プランジャー式ダイカストマシンを開発した^{1), 10)}。これまで、ホットチャンバー式やゲースネック式ではアルミニウム合金や高融点の銅合金のダイカストは難しかったが、メルティングポットと加圧チャンバーを切り離すことで、種々の問題が解決され、アルミニウム合金ダイカストや銅合金ダイカストの生産が可能になった。

Polakマシンは横型締め、縦射出の構造で、加圧室内には上部の射出プランジャー(1)と下部のカウンターピストン(4)から構成される。鑄造合金は加圧室に注湯後、上部の射出プランジャー(1)がカウンターピストン(4)と一緒に降下して鑄造合金がノズル(5)より金型キャビティに射出される。その後、カウンターピストン(4)が上昇して、ピスケット(8)をノズルから切り離し、金型(7)が開いて製品を取り出す。このマシンの登場により、ダイカストの品質が大幅に向上した。しかし、溶融合金を使用すると加圧室のスリーブとプランジャー及びカウンターピストンとのクリアランスに溶湯が侵入して摺動がスムーズに動かなくなることがあり、固液共存状態(セミソリッド状態)で鑄造することでそれを防止することが行われていた。これは、日本では後に練り鑄造やペースト鑄造と呼ばれるようになった。

ドイツのEckertでも1929年に図17に示すコールドチャンバーダイカストマシンを開発した¹⁰⁾。Eckert-Megussマシンは縦型締め、縦射出の構造で、型締めには水圧、射出には空圧が用いられた。溶湯を加圧室内に注湯した後、金型が閉まり下部の射出プランジャーが上昇して溶湯が金型キャビティに射出される。Eckertマシンの場合、加圧室への注湯から型締めまでの時間が長いために、溶湯の冷却が著しい。それを防

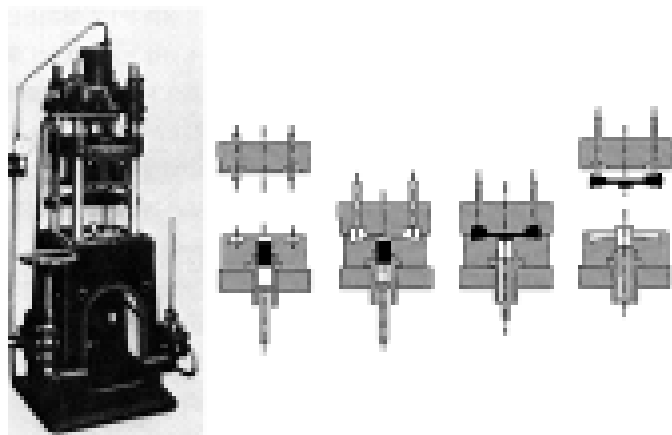


図17 Eckertダイカストマシンとその射出機構原理図^{9), 10)}

止するため、断熱性のカップを加圧室内に入れ、そこに溶湯を注湯する方法が用いられた。また、横型締め、横射出のEckert-Pregussマシンも開発された¹⁰⁾。

これらのコールドチャンバーダイカストマシンは、鑄造圧力を10~30 MPa程度にできることから飛躍的な品質の向上に貢献した。Polak式、Eckert式ともに1920~30年代に日本に輸入され1950年代に油圧ダイカストマシンが登場するまで広く使用された。1940年以降は、スイスのBuhler、アメリカのHPM、KUX、Reed-Prentice、Madison-Kipp社などの油圧式ダイカストマシンが登場することになるが、ここでは割愛する。

マグネシウム合金ダイカストは、1925年ごろドイツのElectronmetal G.m.b.H社で始まった。当初のダイカストマシンの詳細は不明であるが、空気圧式ダイカストマシンが使用されたとされる。その後、1930年頃に図18に示すようなダイカストマシンが開発され、本格的にマグネシウム合金ダイカストが生産された¹⁰⁾。さらに複室式プランジャー機や空圧ダイカストマシンなど種々のマシンが開発された¹⁰⁾。動作方式としては空圧と水圧の両者があった。マグネシウム合金ダイカストの場合もアルミニウム合金ダイカストと同様に後にコールドチャンバーダイカストマシンに移行していっ

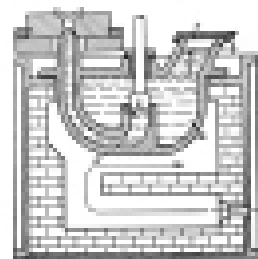


図18 1930年頃に開発されたマグネシウム用ダイカストマシン⁹⁾

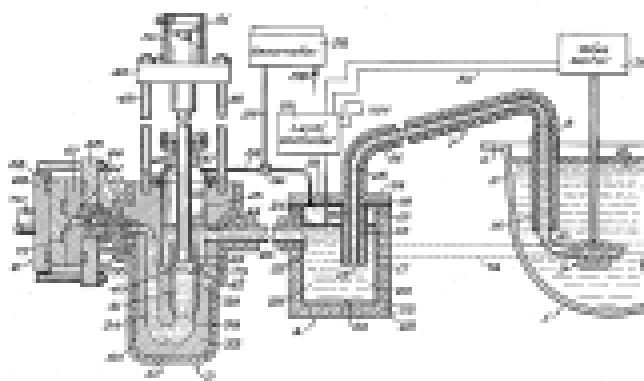


図19 1930年頃に開発されたマグネシウム用ダイカストマシン¹¹⁾

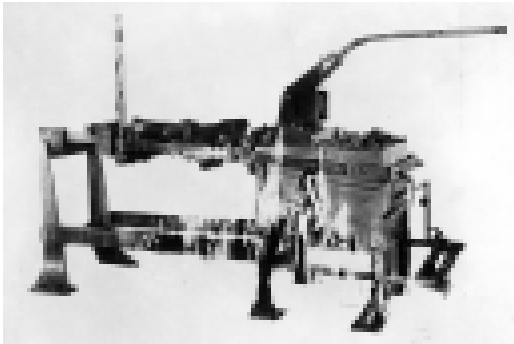


写真2 1917年頃日本に初めて輸入されたSoss式ダイカストマシン¹²⁾

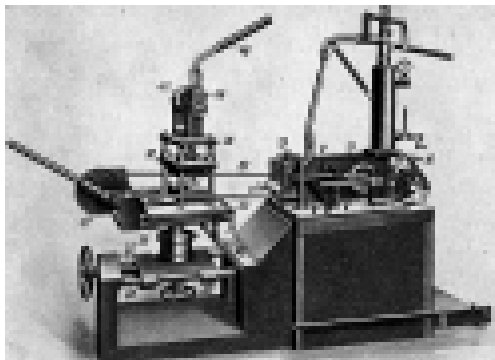


写真4 1930年頃輸入されたRohrbachの空圧ダイカストマシン⁹⁾

た。しかし、1953年にはDow Chemicalが図19に示すようなマグネシウムダイカスト用のホットチャンバーマシンの特許を取得し¹¹⁾、1960年代以降にはOskar Frech GmbH+Co. KGやIdra s. r. lなどのホットチャンバーが主流となっていった。

3. 日本のダイカストマシンの変遷

日本に初めてダイカストマシンが輸入されたのは1917年で、ダイカスト合資会社がアメリカSoss社から購入した手動式の横型トグル型締めプランジャー式ホットチャンバーマシン(図9、写真2)である¹²⁾。その後、1922年にはSoss式ダイカストマシンを参考に写真3に示すような手動式のT型ダイカストマシンを開発した⁹⁾。これが日本で開発された最初のダイカストマシンである。

1928年にダイカスト合資会社は、ドイツのEckert社から型締め力40tの縦型コールドチャンバードイカストマシンを輸入した。型締めには水圧、射出には空気圧を利用するものであった。1929年には古河電工(株)がチェコスロバキアのPolak社から水圧式横型コールドチャンバードイカストマシンを輸入した。また、金門金属工業所でも、1929年頃にドイツのRohrbach

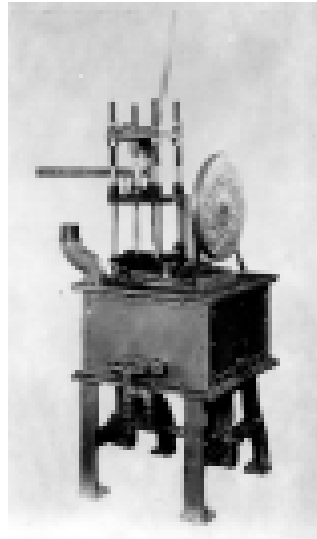


写真3 1922年に開発された日本で最初の手動式T型ダイカストマシン⁹⁾

社から写真4に示すようなグースネック式空圧ダイカストマシンを輸入し、アルミニウム合金ダイカストの生産を開始した⁹⁾。また、同じ頃に東洋ダイカストも先に紹介したMadison-Kippのグースネック式空圧ダイカストマシンを輸入し、アルミニウム合金ダイカスト、銅合金ダイカストの生産を開始した⁹⁾。1935年頃は日本では図20⁷⁾に示す手動式の小型の縦型ダイカストマシンやPolak、Eckertを原型としたダイカストマシンが盛んに生産され、第二次世界大戦中の軍需用ダイカストの需要増に対応した⁹⁾。

第二次世界大戦後～1955年頃までは戦前に輸入されたEckert式やPolak式、国産の手動式カム締め付式、手動ジャッキ式、縦型水圧式など小型ダイカストマシン(写真5¹³⁾)が主に使用された。1952年頃にはHPM、Buhler、KUX、Reed-Prentice、Madison-Kipp社など欧米の油圧式ダイカストマシンが輸入された。写真6に日本に初めて輸入されたHPMの油圧式ダイカストマシンを示す。(このダイカストマシンは、1952年に愛知工業(株)(現 アイシン精機(株))が輸入したもので、後にアイシン軽金属(株)に移設され、1980年まで稼働していた。2006年のダイカスト会議・展

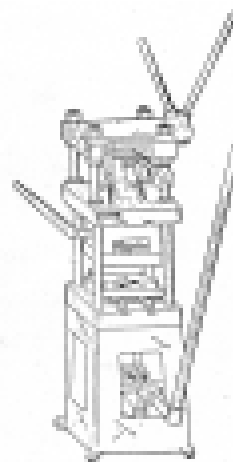


図20 手動縦型小型ダイカストマシン⁷⁾



写真5 水圧式太田6tダイカストマシン¹³⁾

示会に合わせて修復され、ダイカスト協会ブースに展示された。）

このダイカストマシンの輸入を機に、国内でも油圧ダイカストマシンの開発が始まった。写真7に1953年に東芝機械で生産された直圧式単動射出シリンダーの型締め力200tの油圧式横型コールドチャンバーダイカストマシンを示す¹²⁾。

1955年～1960年の間でダイカストマシンは水圧式から油圧式に替わり、小・中型マシンの国産化も進展した。小物部品のホットチャンバーダイカストマシンはイギリスのDMCT社から輸入された空圧式の全自動IMPマシンが盛んに用いられたが、供給が間に合わず国内メーカーにより代替マシンが生産された。写

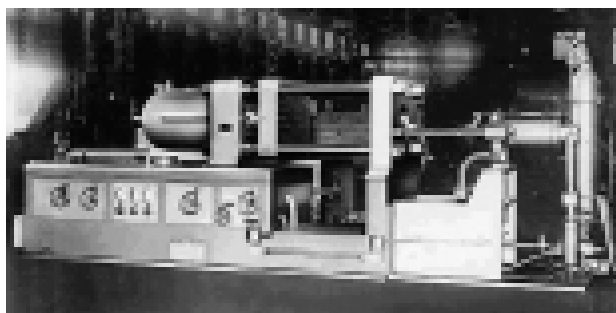


写真6 1952年に日本に初めて輸入されたHPMの油圧式ダイカストマシン
(2006 日本ダイカスト会議・展示会より)



写真7 1953年製の200t油圧式横型ダイカストマシン(東芝機械製)¹²⁾

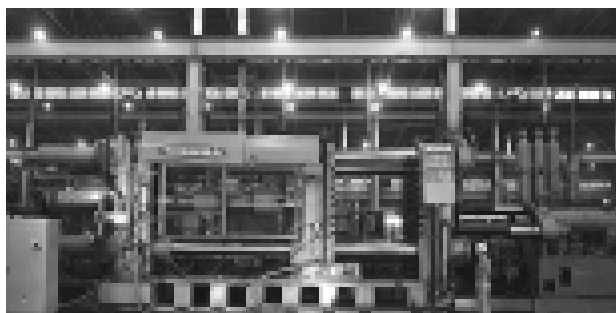


写真9 1972年に生産された当時世界最大級の3,300tダイカストマシン(東芝機械製)¹³⁾

真8に国内で生産された小型の空圧式ホットチャンバーマシンを示す¹²⁾。空圧式は型締めや射出を空圧シリンダーで行うため油圧式と異なり油漏れも少なく、生産性に優れたマシンであった。

1960年～1975年に大型マシンの国産化が進み、1963年に1,500t、2,200tマシンが製作された⁹⁾。1972年には写真9¹³⁾に示すように当時では世界最大級の3,300tダイカストマシンが東芝機械で製作された。ホットチャンバーマシンもこの頃に1,000tの最大級のマシンが製作された。また、給湯装置、製品取り出し装置、スプレー装置など付帯設備も充実し、ダイカストマシンの自動化が可能になった。

1975年～1985年にはダイカストの高品質化を目指して新しいダイカスト法が種々開発された。1976年には世界で初めて日本独自の発明となる写真10に示すスクイズダイカストマシンが宇部興産機械で開発された¹⁴⁾。さらに、PFダイカストマシン、中圧ダイカストマ



写真8 1959年製の手動式ダイカストマシン(篠塚製作所製)¹²⁾

シンなどが製作され、高品質ダイカスト用ダイカストマシン開発の時代を迎えた。また、ダイカストマシンの制御もコンピュータ技術を取り入れるようになった。1984年には、日本最大の4,000t超大型ダイカストマシンが宇部興産機械で製作された¹⁴⁾。

1985年～現在ではコンピュータ制御技術が一層進展して、リアルタイムで制御可能になってき

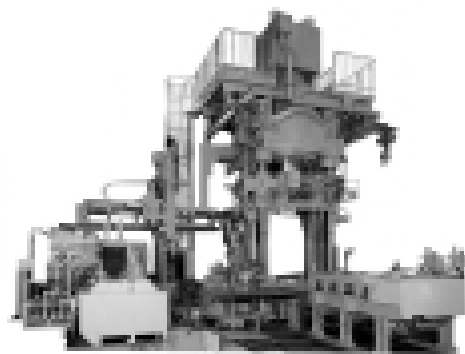


写真10 1976年に生産された1,500tスクイズダイカストマシン(宇部興産)¹⁴⁾

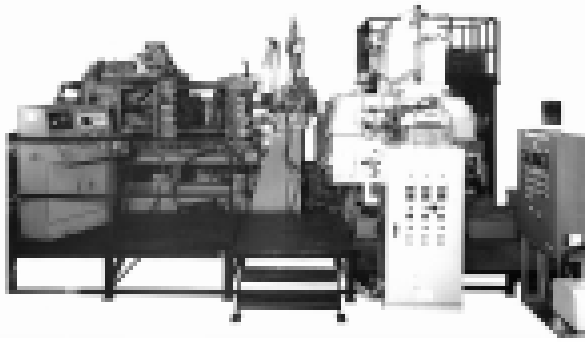


写真 11 東芝機械で開発した実験用アルミニウム
ホットチャンバダイカストマシン¹⁴⁾

た。また、従来国内のダイカストマシンの射出速度は最高でも 4 m/s 程度であったが、油圧バルブ技術の進展により空打ち速度で 10 m/s といった高速で射出が可能な高射出力ダイカストマシンが開発された。また、射出速度を複雑に制御することが可能になり、製品形状に合わせた射出速度パターンを設定したり射出完了直前にブレーキをかけるなどの射出制御が可能となった。また、アルミニウム合金用ホットチャンバーについて 1985 年頃から東芝機械(写真 11¹³⁾)や東洋機械金属で開発が試みられたが、2000 年にサンキによって射出部を二重構造のセラミックスとすることで 15 t と 50 t のアルミニウム合金用ホットチャンバーが開発・実用化された¹⁵⁾。

最近では、本特集号で紹介するようなコールドチャンバーダイカストマシンでは、トグルによる型締め機構を無くした省スペース 2 プラテンダイカストマシンや、油圧による型締めから電動サーボ制御を利用したダイカストマシン、低メタル圧ダイカストマシンなどが開発・実用化されつつある。また、ホットチャンバーダイカストマシンではパーティング射出ダイカストマシンや高品質射出ダイカストマシンなど新しいコンセプトのマシンが開発されつつある。特に、これらのダイカストマシンは世界のトップクラスの技術が集積されたもので、世界をリードする技術といえる。

4. おわりに

本稿では、ダイカストの生産にとっては欠かせないダイカストマシンの変遷について紹介した。ダイカストマシンの駆動は手動、空圧、水圧、油圧、サーボへと進化し、また生産できる製品の大きさ、精度、複雑さ、生産性も飛躍的に進歩している。今後は、今回特集したような新しいコンセプトに基づくダイカストマシンが一層浸透するとともに、より作業や環境に優しくより安全なダイカストマシンが開発されることを期待する。最後に、ここで紹介した技術の変遷が、次代の進むべき方向性を見出す上で参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) C. O. Herb: DIE-CASTING (The Industrial Press) (1936) 38
- 2) U. S. A. Patent 3324 (1843)
- 3) H. L. Harvill: High-pressure die casting (The Fred Hensen Co.) (1945)
- 4) M. Stern: Die-casting practice (McGraw-Hill Book Co., Inc) (1930)
- 5) U. S. A. Patent 189,090 (1977)
- 6) U. S. A. Patent 470,525 (1892)
- 7) 西直美: 鑄造工学, 78 (2006) 413
- 8) H. H. Doehler: Die casting (McGraw-Hill Book Co., Inc) (1951)
- 9) 日本ダイカスト協会編: 日本ダイカスト史 (日刊工業新聞社) (1986)
- 10) 平賀力: ダイカスト一般論 (硯学書房) (1952)
- 11) U. S. A. Patent 2,660,769 (1953)
- 12) 日本ダイカスト協会編: ダイカスト百科事典 (軽金属通信ある社) (2005)
- 13) リョービの歩み (1974) 46
- 14) 日本ダイカスト協会編: ダイカスト技術史 - 戦後 50 年の変遷 - (日本ダイカスト協会) (1995)
- 15) 三木功: 型技術, 18 (2203) No.4,37

社団法人日本ダイカスト協会

<http://www.diecasting.or.jp/>

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 機械振興会館 502

TEL 03-3434-1885 FAX 03-3434-8829