

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K12957

研究課題名(和文) 素形材産業におけるモノづくりのデジタル化

研究課題名(英文) Digitalization in Casting and Forging Industries

研究代表者

永島 昂 (Nagashima, Takashi)

立命館大学・産業社会学部・准教授

研究者番号：10733321

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,000,000円

研究成果の概要(和文)： 鋳物づくりには技能、経験、ノウハウが重要だとよく言われるが、それらの内容は時代によって変化してきた。

高度成長期以前は造型工が個人的に蓄積した身体的な技能や経験が重視されてきたが、高度成長期に機械化が進んだ結果、身体的な技能の役割は相対的に低下する一方で、製造経験やノウハウ、鋳造工学における工学的な知識の役割が鋳造方案と呼ばれる鋳物づくりの設計において高まった。その後、鋳造方案の設計に鋳造CAEという情報技術の活用が2000年代から広まる。情報技術が導入されたことで、これまでの製造経験やノウハウ、工学的な知識の役割が減じたのではなく、むしろその基礎の上で情報技術が活用されている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

鋳物産業では1990-2000年代以降に情報技術が普及するが、当該産業の歴史的展開のなかでの熟練・技能、ノウハウの役割やそれらの変化、そして情報技術の関連について分析した研究は少ない。本研究は、情報化が進んだ時代においても、鋳物産業では依然として製造経験、ノウハウ、工学的知識の役割が重要だということを示した。鋳物づくりの経験、ノウハウ、知識は、これまでの各企業の事業継続のなかで蓄積された知的財産である。産業空洞化が叫ばれて久しいが、改めて鋳物産業のような基盤的技術産業の維持・発展が社会的な課題であることを示唆している。

研究成果の概要(英文)： It is often said that skills, experience and know-how are important for casting process. These abilities have changed across the ages.

Before high economic growth period, mold makers physical skills and experience accumulated personally were important for casting process. During high economic growth period, mechanization progressed in casting industry, and the role of physical skill decreased. But in the meantime manufacturing experience, know-how and engineering knowledge has become more important particularly in casting designing process. And then, Computer aided engineering technology has began widely used since 2000s. This use of information technology did not decrease the role of know-how and engineering knowledge. To use this information technology effectually, know-how and engineering knowledge are necessary.

研究分野：産業史、産業技術史

キーワード：鋳物産業 中小企業 鋳造方案 情報技術

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、機械工業の基礎部門である素形材産業においてもデジタル技術の活用が課題となり、デジタル化が進んでいる。そこで素形材産業の代表格である鋳物産業を対象に、モノづくりのデジタル化に至るまでの歴史的展開について産業技術史的な視点から研究を行うという着想に至った。

### 2. 研究の目的

研究の目的は、IT・IoT時代における素形材分野のモノづくりに関わる熟練・技能、ノウハウの役割を展望することである。例えば、田口直樹(2011)は、1970年代後半以降にNC工作機械、CAD、CAD/CAM、CAEが普及した金型産業では、過去の技術的基礎をもとに蓄積された企業独自のノウハウと情報技術を融合させることで高い競争力を保持していることを明らかにしている<sup>1</sup>。同じく基盤的技術分野とされる鋳物産業では、1990-2000年代以降に情報技術が普及するが、当該産業の歴史的展開のなかでの熟練・技能、ノウハウの役割やそれらの変化、そして情報技術の関連について分析した研究は少ない。

### 3. 研究の方法

第一に、鋳物産業におけるデジタル化は、鋳造方案設計工程における鋳造CAE(湯流れおよび凝固シミュレーション技術)の活用となって現われている。鋳物産業におけるデジタル化という技術変化の意味を理解するために、鋳造CAE活用に至るまでの鋳造方案にかかわる技術変化について歴史的に明らかにする。第二に、1980年代から本格化する鋳造CAE技術の開発過程とその後の普及過程を明らかにするために、中小企業向けソフトウェアを開発した企業の事例調査を行う。

### 4. 研究成果

#### (1) 高度成長期における鋳物産業の技術変化

高度成長を通じて鋳物産業に対する社会的評価は変化した。高度成長期初期に通商産業省は、鋳物産業は機械工業の発展に比べ「近代化」が遅れているため、「機械工業発展の阻害要因」となっていると当該産業を問題視していた。鋳物産業の「中小企業性」が近代化の遅れの原因として見られ、規模拡大と経営の近代化、機械化の進展が課題だと考えられていた。高度成長の進展とともにそうした評価は徐々に変化し、安定成長期には、むしろ素形材産業は機械工業の要請に対応し、目覚ましく発展したと、肯定的な評価がなされるようになった。

ところが、近代化の遅れの原因とされた中小企業性という当該産業の特質は、高度成長を経てもほぼ変化しなかった。つまり中小企業性を保持したまま産業発展を果たしたといえる。その内実を明らかにするため、高度成長期の鋳物産業における事業所数、需給構造、技術の変化を、大企業と中小企業、内製部門と専業者という区別に注意しながら分析を行った。以下では、その概要を説明する。

高度成長期の銑鉄鋳物製造業では、比較的規模の大きい層の事業所数が増加する一方で、大多数の中小規模事業所数は維持ないし緩やかに増加する傾向が見られた。全体的な動向としては、中小企業性が維持されたまま、仕事量が拡大し、生産性が向上した。

高度成長期に機械用鋳物の需給構造は大きく変化した。急拡大した分野は自動車用と産業機械器具用であり、これらの需給増加に対応しながら鋳物産業の構造と技術が変化していく。自動車用と産業機械器具用の銑鉄鋳物は質的に異なる需要であり、それらに対応する技術と供給主体は基本的に異なる。したがって、それぞれの需給関係を念頭に置く必要がある。

モータリゼーションに伴い、急速に拡大した自動車用鋳物需要の分野では大量生産体制が形成された。1950年代から自動車メーカーは内製鋳造部門に大量生産システムを導入し、同時に外注化を進めた。自動車用鋳物に関する独自の技術や開発能力が必要とされたため、自動車メーカーは鋳物専門メーカーを育成する。こうした自動車関連の大手専門メーカーは既存の産地内の中小鋳物メーカーへの発注を増加させ、自動車用鋳物に関わる下請分業生産が中小企業を含めて広まった。その結果、自動車用鋳物と中小鋳物メーカーとの結びつきが強まり、鋳物産業集積地での自動車用鋳物の生産拡大と企業規模を拡大させる鋳物メーカーの出現に結実した。

産業機械産業はその製品・生産特性により鋳物などの素形材を外注に依存する傾向があり、そうした素形材の主な供給者は各地の鋳物産地の中小鋳物メーカーであった。高度成長期に各種産業での投資拡大が進展し、資本財を供給する産業機械産業は急成長した。その結果、産業機械器具用鋳物需要は大幅に増加していく。拡大した産業機械用鋳物需要の大部分は中小鋳物メーカーによって供給され、その供給力の向上によって産業機械産業の成長が支えられたという関係が見られた。

このように高度成長期に拡大した両市場において中小鋳物メーカーは鋳物供給者として位置していた。これら中小鋳物メーカーは高度成長期にその供給力を向上させていく。中小鋳物メーカーは複数の産業にわたる小・中規模な受注を繰り返すという取引形態に合わせて、多品種少量(中量)生産に適した設備を1950年代後半から60年代前半にかけて積極的に導入した。この

<sup>1</sup> 田口直樹(2011)『産業技術競争力と金型産業』ミネルヴァ書房、126-127頁。

時期に設備導入が活発化した理由は、拡大する需要に対して旧来の生産管理・労務管理体制では対応できなかったこと、労働市場の逼迫により労働コストが上昇したことが挙げられる。こうした経営環境を打開するため、ボトルネック工程の解消が求められ、中小鋳物メーカーの技術変化（造型、運搬、砂処理などの諸工程の機械化および新たな造型プロセスの導入）が促された。これらの生産設備は、新東工業や太洋鋳機といった国内の鋳造機械メーカーが供給していた。

### （２）鋳造方案にかかわる技術変化

これらの技術変化は中小鋳物メーカーの中核的なノウハウである鋳造方案に対して次のような変化を生み出すことになる。

鋳造方案とは、「製品図から鋳物素材を作る計画で、模型方案（鋳造姿勢、模型の分割、削り代、木型・金型の区分などの設定）、湯口方案（湯口系などの設定）、押湯方案（押湯、冷し金）などを総括したものであり、要するに湯口方案は湯流れプロセスを、押湯方案は凝固プロセスを鋳型の設計で制御することを意味する。したがって、鋳造方案は鋳物の材質・形状設計だけでなく、鋳造方法や造型法の設計を含むので、その設計品質は鋳物の品質、コスト、納期を左右することになる。

高度成長期以前の鋳造方案は次の様に設計され、鋳型に反映されていた。熟練造型工が鋳造諸条件を総合的に判断し、鋳造方案を決定し、造型道具を用いて湯口、湯道、押湯を鋳型に反映していた。その設計品質は造型工の経験と技能に依存していた。また経験や技能は個人的に蓄積されるため、一人ひとりの造型工によって鋳造方案が異なっていた。このため、「型込、乾燥、注湯を一人で作業する」ことが当時の鋳造現場では当然視され、こうした作業のあり方や熟練を前提に出来高賃金が造型工に適用されていた。

鋳造現場に造型機が導入されるに伴い、まず鋳物用木型にマッチプレートが利用されるようになる。マッチプレートとは機械造型に使用する模型を取り付けた定盤のことを指すが、通常、定盤には製品の模型だけでなく、予め設計された鋳造方案の模型も取り付けられている。マッチプレートを用いて造型することで、造型工は造型道具を用いて鋳造方案を鋳型に反映する必要はなくなる。こうして鋳造現場から各種の造型道具は不要とされ、造型道具を扱う技能は模型に集約される。さらに、個々の製品に対する鋳造方案は工場ないし生産ラインで統一されるため、個人による鋳造方案の違いも無くなる。機械メーカーより受注した製品図をもとに鋳物メーカーが鋳造方案を設計し、鋳造方案込みの模型を模型メーカーに発注する。鋳物メーカーではマッチプレートを用いて、造型機で造型するといった分業関係と作業形態が、1960年代半ばには中小鋳物メーカーのなかでも比較的規模の大きい層を中心に見られるようになったと考えられる。

この過程で、鋳造方案はそれまでの「経験的方案」から「科学的方案」へと変化する。ここでいう「科学的」とは、鋳型の内部で生じる物理的・化学的諸現象の諸法則に対する認識が、主観的なものから客観的なものへと変化したことを指している。客観的な認識を実現するための条件として、法則性を表現する定式や理論が必要となるが、戦後の鋳造工学的実験や研究で明らかにされた各種の公式がこれに当たる。「科学的方案」とはそれら公式に立脚した鋳造方案の設計が実践されることを意味し、それは同時に設計ノウハウの客観的表現と、工場や企業レベルでの設計ノウハウの蓄積を可能にする。

ただし、鋳物づくりの場合、各種公式にもとづけば最適解が得られるわけではない。鋳物の材質、形状の特性、鋳込み姿勢、中子・主型の種類、鋳型の硬度、非量産・量産、生産設備の種類などの様々な要素や条件に合わせて鋳造方案の設計を調整する必要が生じるからである。また、各種公式は万能でもない。計算値が当てはまらない場合も多くある。したがって、結局のところ、各工場ですり合わせを繰り返して、鋳造方案の設計を調整することが求められる。こうして個々の鋳物メーカーが自らの鋳造諸条件に合わせた鋳造方案の設計ノウハウの蓄積が重要となる。こうした鋳造方案の設計ノウハウの蓄積は、鋳物メーカーの競争力を規定する要素として、その重要性が高度成長期から徐々に高まっていった。

### （３）鋳造 CAE 技術の開発と普及

鋳造方案設計にかかわる技術変化の歴史の中で、次の画期となった技術が鋳造 CAE、すなわち鋳型内部の挙動を可視化するコンピュータ技術である。鋳造方案の設計品質により、注湯後の鋳型内部の湯流れ過程とその後の凝固過程において鋳造欠陥が発生する 경우가よくある。方案設計が原因とされる鋳造欠陥は、方案の改良によって解決することができるが、従来は試行錯誤を繰り返す以外に方法がなかった。そこで、鋳造方案（湯口方案と凝固方案）を三次元でコンピュータ上で表現し、湯流れおよび凝固過程をシミュレーションすることができれば、ブラックボックスとされてきた鋳型内部の溶湯流動・凝固現象を可視化することが可能となる。鋳造 CAE を活用することで、鋳造方案の最適設計、試作時間の大幅短縮が可能となり、品質向上とコスト低減に貢献できる<sup>2</sup>。

日本における鋳造 CAE の開発は 1970 年代から始められており、現在、日本で普及しているソ

<sup>2</sup> 村上俊彦・大中逸雄・朱金東（2003）「鋳造 CAE システム『JSCAST』」『応用数理』第 13 巻第 1 号，11 頁。

フトウェアは、「ADSTEFAN」(日立製作所)、「JSCAST」(コマツ)、「TopCAST」(トヨタ)、「METALFILL」(日本ユニシス)である<sup>3</sup>。これらのうち、中小鋳物メーカーが多く導入している「JSCAST」についての事例調査を行った<sup>4</sup>。

コマツは建設機械に鋳鋼部品を多く使うため、鋳鋼品関連の開発リードタイムの短縮と不良対策に鋳造 CAE を活用したいという目的の下、コマツの生産技術開発部門と大阪大学が共同で鋳造 CAE の開発が始められた。ソフトウェアの開発を担った小松ソフトウェア開発株式会社(現クオリカ)は 1982 年に設立され、1986 年に SOLIDA (現 JSCAST) の販売が開始された。ただし当時のソフトウェアは高価格であったため、中小鋳物メーカーに普及させるためにはダウンサイズし、価格を抑えたソフトウェアを開発する必要があった。そこで同社は、1993~95 年に中小企業事業団技術開発事業委託を受けることになり、96 年に EWS 版 JSCAST、99 年に JSCAST for Windows を開発・販売する。2000 年代に入り、ようやく中小鋳物メーカーにも鋳造 CAE が普及することになる。ただし、普及傾向としては小規模ほど導入していない企業が多く、非量産型より大量生産型の鋳物メーカーでの利用が多いとのことであった。

現状では、鋳造 CAE の導入により鋳造方案の設計にかかわるノウハウが代替されるとは評価できず、むしろそれまでの技術的な蓄積やノウハウの基礎の上で情報技術が活用されていると考えられる。鋳物メーカーが鋳造 CAE に求めている機能は、設計された鋳造方案でどの箇所に鋳造欠陥が出るリスクが高いかを判定することであり、そのリスク回避のために鋳造 CAE が利用されている。さらに、鋳造 CAE を活用するためには、その技術的な特徴や限界を理解した上で使いこなす必要があり、それを活用しうるだけの知識とノウハウが新たに求められている。また、鋳造方案設計のノウハウを他者に伝えるためのツールとしても活用されている。生産現場では方案設計のノウハウやその知的基盤である鋳造工学理論が依然として重要であるが、ブラックボックス化した鋳型の内部を鋳造 CAE で可視化することで、それらの知識伝達の手助けとなっている。

---

<sup>3</sup> 中江秀雄(2013)「鉄鋳物の技術系統化調査」『国立科学博物館技術の系統化調査報告』55-56 頁。

<sup>4</sup> 以下の記述はクオリカ株式会社八十田稔(JSCAST 事業推進室長)、木佐貫新(JSCAST 事業推進室統括マネジャー)へのヒアリング調査(2019 年 5 月 15 日)による。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 永島 昂	4. 巻 54/4
2. 論文標題 高度成長期の鋳物産業（上）	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 立命館産業社会論集	6. 最初と最後の頁 19～38
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 永島 昂	4. 巻 281
2. 論文標題 科学史入門 戦後日本鋳物産業の技術発展	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 科学史研究[第 期]	6. 最初と最後の頁 44-49
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 永島 昂	4. 巻 55/4
2. 論文標題 高度成長期の鋳物産業（中）	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 立命館産業社会論集	6. 最初と最後の頁 41～64
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----