**製造業における自社発電の拡充による脱炭素化の可能性**

**明治大学　大森正之ゼミナール3年**

**菅野志織・田中亮悟・比留川萌人**

【目次】

初めに

1　自社発電の普及の背景と現状

1-1　自社発電が普及した背景

1-2　自社発電の現状

2　自社発電の拡充と脱炭素化の進展に関する仮説の設定

3　調査対象業界の選定と仮説の検証方法

3-1　調査対象業界の選定方法

3-2　仮説の検証方法

4　製鉄業界における自社発電の動向

4-1　自社発電の歴史と現状

4-2　自社発電による脱炭素化と関連技術移転の現状

4-3　自社発電による脱炭素化と関連技術移転の課題

5　化学業界における自社発電の動向

5-1　自社発電の歴史と現状

5-2　自社発電による脱炭素化と関連技術移転の現状

5-3　自社発電による脱炭素化と関連技術移転の課題

6　製紙業界における自社発電の動向

6-1　自社発電の歴史と現状

6-2　自社発電による脱炭素化と関連技術移転の現状

6-3　自社発電による脱炭素化と関連技術移転の課題

7　検証結果と考察

終わりに

【注釈】

【参考文献】

【参考URL】

【調査協力企業】

**初めに**

産業革命以来、化石燃料の大量消費によって温室効果ガスが増加し、地球温暖化が起きている。その結果、病害虫による被害の拡大や海面上昇による居住域の減少などが問題となっている。2019年、台風が千葉県に直撃し甚大な被害をもたらしたが、これも地球温暖化が影響しているとされている。

世界的に地球温暖化対策の重要性は高まり、2015年、パリ協定が採択され、世界の脱炭素化に向けた目標が定められた。2017年度の日本の二酸化炭素（以下CO2と省略する）排出の内訳は、産業部門がエネルギー転換部門に次いで2番目に多く、全体の24.9％を占めており、産業界の排出量削減が必要だ。また、2011年の東日本大震災の時、福島第一原発の事故で停電が発生し、BCP1の一環として安定電源の必要性が高まった。これにより自社発電２はより注目されるようになった。2012年には再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT）3が開始し、再生可能エネルギーを用いた自社発電を行う企業が増加した。これは日本全体のCO2排出量削減につながっている。

このような背景から、私たちは製造業の自社発電に着目した。そして、調査対象業界の選定の結果、製鉄、化学、製紙の3業界に着目し、産業界における自社発電の脱炭素化について考察した。さらに、自社発電の脱炭素化をビジネスチャンスにするため、海外への有償での技術移転にも注目した。

本研究の結論として、産業界全体への自社発電による脱炭素戦略を3つ提案する。

***提案1：自社発電設備の拡充と高効率化***

***提案2：CO2排出量のより少ない燃料への転換***

***提案3：副生ガス・副産物のエネルギー化と海外への技術移転***

これらをもとに各業界・企業に合った方法で脱炭素化を進めるべきである。

本稿の構成は以下である。第1章で自社発電が普及した背景と現状について述べ、第2章で自社発電の拡充と脱炭素化の進展に関する仮説を設定する。第3章では調査対象業界の選定方法と仮説の検証方法を述べる。第4章から第6章では調査対象業界の自社発電の歴史と現状、自社発電の脱炭素化と関連技術移転の現状・課題について述べる。第7章では仮説の検証結果をまとめ、他業界へも適用できるように調査結果を一般化する。

**1　自社発電の普及の背景と現状**

**1-1　自社発電が普及した背景**

明治時代から第二次世界大戦にかけて、日本の産業は発達したが、生産に必要な電力が不足していた。そこで企業は、水力発電や石炭を用いた火力発電を行い、自社でエネルギーを賄った。戦後復興が進んだ1950年代、生産が増大する一方で電力会社からの電力供給は不安定であったため、自社発電が増加した。1973年、79年の2度の石油危機で電力価格が高騰し、企業にとってコスト削減（安価な石炭の見直し）が大きな課題となった。企業は省エネルギー化に注力し、自社発電と購入電力の最適な組み合わせの模索や、廃熱と蒸気のエネルギー化によってコストを削減した。それ以降も省エネ化を進めるが、1997年に京都議定書が採択されると、温室効果ガスの排出量削減が大きな課題となり、より一層の省エネ化と低炭素化を進めた。

2011年、福島第一原子力発電所の事故により電力が不足し、多くの工場の稼働が停止した。この経験から、BCPの一環として非常用電源となる自社発電が注目されるようになった。2012年、FIT制度が始まり、再生可能エネルギーを利用した自社発電に取り組む企業が増えた。さらに2014年以降、事業運営に必要な電力を100%再生可能エネルギーで調達することを目標に掲げる「RE100」という国際イニシアチブを宣言する企業が増加している。2015年にはパリ協定が採択され、日本は2030年度の温室効果ガス排出量を2013年度比で26％削減することを目標としている。

**1-2　自社発電の現状**

　私たちは自社発電を行っている業界を、大規模な自社発電を行う業界と、小規模な自社発電を行う業界の2つに分類した。前者は、大量の電力の安定供給を必要とする業界で、製造業に多い。発電方法として、火力や水力、バイオマス、コージェネレーションシステム4などが挙げられる。さらに、生産過程で生じる副産物を発電の燃料として利用する工場もある。また、世界の脱炭素化の流れからよりクリーンな自社発電の方法がとられるようになっている。後者は、FIT制度の開始を契機に再生可能エネルギーの自社発電を導入した業界で、その例として倉庫業や運輸業が挙げられる。発電方法は、工場の屋根での太陽光発電や敷地内における風力発電などだ。本研究では、前者の大規模な自社発電を行う業界に着目する。調査対象業界の詳細な選定理由については、第3章の3-1で述べる。

**2　製造業における自社発電の拡充と脱炭素化の進展に関する仮説の設定**

私たちは、製造業における自社発電の拡充と脱炭素化の進展について考察する上で以下の3つの仮説を立てた。

***仮説1：日本国内の製造業における大規模な自社発電設備の新設が見込まれる***

***仮説2：既存の自社発電設備の高効率化と燃料の転換による脱炭素化が進む***

***仮説3：脱炭素化につながる自社発電の技術移転は増える***

仮説1を立てた背景には、再生可能エネルギー発電促進賦課金5の負担の増加と、非常用電源の必要性の高まりがある。再エネ賦課金については、FIT制度を利用した売電の増加により賦課金は高くなっている。このため、大量の電力の安定供給を必要とする企業は、電力会社から電力を購入するよりも自社発電を行った方がコストを抑えることができるのではないかと考えた。非常用電源については、2011年の東日本大震災や2019年の台風からも分かるように、日本は自然災害が多く、その度に停電が発生し生産に支障が出ている。BCPの一環として自社発電が導入されれば、災害時にも生産が可能になるため、製造業で必要な電力を賄える大規模な自社発電設備の新設が進むと予想した。

仮説2については、既に自社発電設備を導入している企業は、既存の自社発電設備を活用して脱炭素化を進めると考えた。高効率化については燃料の使用量削減が可能だ。燃料の転換については、CO2排出量がより少ない燃料を使用して低炭素化・脱炭素化を実現するのではないかと考えた。

仮説3を立てた背景には、経済成長を重視する新興国でCO2排出量が増加しているという問題がある。日本の自社発電設備はエネルギー効率が高く環境負荷が小さいので、日本の自社発電技術を移転すれば新興国のCO2排出量を大幅に削減できる。さらに、有償での技術移転が可能になれば、企業の新たなビジネスチャンスになる。したがって脱炭素化につながる自社発電の技術移転は増えると予想した。以上3つの仮説をもとに、私たちは製造業における自社発電の拡充と脱炭素化および関連技術移転の動向について検証した。

**3　調査対象業界の選定と仮説の検証方法**

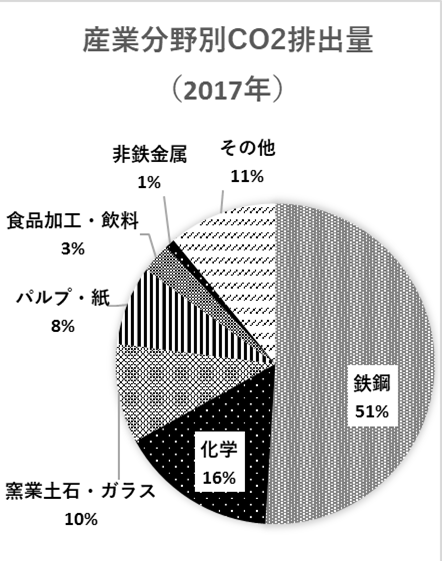
**3-1　調査対象業界の選定方法**

　第2章で設定した仮説を検証するために調査対象業界の選定を行い、製鉄、化学、製紙の3業界に着目した。選定の際に重視した項目は以下の3つである。

***項目１：CO2排出量が多い***

***項目２：生産過程に大量の電力の安定供給を必要とする***

***項目3：生産過程で発電に利用可能な副産物が多く発生する***

**図１：産業分野別CO2排出量(2017年度)**

**国立研究開発法人国立環境研究所HP（2019）「日本国温室効果ガスインベントリ報告書」をもとに筆者作成**

項目1は、製鉄、化学、製紙の3業界すべてに当てはまる。図1の産業分野別CO2排出量を見ると、鉄鋼、化学、窯業土石・ガラス、パルプ・紙の順に排出量が多い。ここで、窯業土石・ガラスは複数の業界を組み合わせたものなので除外する。パルプ・紙は製紙業界を指すので、製鉄業界、化学業界、製紙業界のCO2排出量が特に多いことが分かる。

項目2は、主に化学業界が当てはまる。大量の電力の安定供給を必要とする企業はBCPの一環として大規模な自社発電設備を導入している。なぜならば、購入電力に頼ると、電力会社の事故や災害時の停電の時、生産に大きな影響が及ぶからだ。このような大規模な自社発電設備をもつ企業に着目すれば、製造業全体の自社発電の拡充と脱炭素化の動向をつかめると考えた。

項目3は、主に製鉄業界と製紙業界に当てはまる。生産過程で生じる副産物（詳細は後述）は公害防止のため適切な処理が必要だ。そこで副産物を発電燃料に利用することで、副産物の処理費用とエネルギー調達にかかる費用を削減できる。以上より、本研究では製鉄、化学、製紙の3業界に着目する。

**3-2　仮説の検証方法**

　私たちは、仮説を検証するために、『社史』や「有価証券報告書」、「ウェブサイト」、「環境報告書」を精査した。自社発電の歴史は社史を参考にし、自社発電の現状や課題は、企業の有価証券報告書、ウェブサイト、環境報告書を参考にした。さらに、各業界の自社発電の動向について詳しく知るために、製鉄業界では日本製鉄株式会社の君津製鉄所に工場見学を行った。化学業界では、デンカ株式会社に自社発電への取り組みに関する質問状を送付し回答を得、さらに訪問聞き取り調査を行った。製紙業界では日本製紙株式会社に質問状を送付し、その回答を得た。また、業界全体や自社発電全般に関する情報は、その他の文献やウェブサイトを参考にした。

**4　製鉄業界における自社発電の動向**

**4-1　自社発電の歴史と現状**

製鉄業界では、1901年に官営八幡製鉄所が創業した当初から自社発電が行われていた。社史には発電した電力の使途について「補助機械の運搬と電灯電力供給に利用」と記載されている。その後、自社発電は増加していった。戦後は、復興と朝鮮戦争により鉄需要が高まる一方で、石炭不足により自社発電が十分には行えなかった。そこで1960年代、製鉄所は発電設備の改修によって発電効率を高めた。また、当時から副生ガスによる発電が行われており、その助燃料7に用いられていた重油の価格が低下したことで、自社発電は更に増加した。同時期、製鉄会社と電力会社は共同出資で共同火力株式会社を設立し、電力を折半で利用するようになった。

**表 1：日本製鉄株式会社の自社発電の歴史**

|  |  |
| --- | --- |
|  | **日本製鉄株式会社** |
| 1901年 | 日本製鉄の前身となる官営八幡製鉄所が創業 |
| 1943年 | 自社発電能力が約16万kWに |
| 1949年 | 使用電力に占める自社発電の割合が73.4％に |
| 1961年 | 関西電力との共同出資で和歌山共同火力株式会社を設立 |
| 1967年 | 東京電力との共同出資で君津共同火力株式会社を設立 |
| 1969年 | 東京電力との共同出資で鹿島共同火力株式会社を設立 |
| 1970年代 | 省エネ化や廃棄物の再利用を進める |
| 1977年 | 戸畑共同火力で燃料を重油からLNGに転換 |
| 1983～85年 | 和歌山共同火力で製鉄所のコークス炉ガスの混焼 |
| 2006年 | 戸畑共同火力の石炭と副生ガスの混焼ボイラ運転開始 |

**社史編纂委員会（1981）『炎とともに：富士製鐵株式会社社史』、社史編纂委員会（1981）  
『炎とともに : 八幡製鉄株式会社史』、社史編纂委員会（1981）『炎とともに：新日本製鐵株式会社十年史』をもとに筆者作成**

石油危機では、製鉄所の動力と加熱炉に重油を利用していたため重油の価格高騰の影響を受けた。海外からの諸資源の入手が困難になり、省資源化と省エネルギー化が課題となった。各社はエネルギーの集中管理システムの構築や廃棄物の再利用、微粉炭の利用を進めた。さらに高炉炉頂圧タービン、熱風炉廃熱回収設備、焼結気クーラー廃熱回収設備、コークス乾式消火設備などを導入した。高炉炉頂圧タービンは1990年時点で日本の高炉の83％に設置され、現在はすべての高炉に設置されている。 1995年、電気事業法が改正され、一般企業が電力会社の入札制度を通じて電力卸売り事業（IPP）に参入することが可能になった。これを受け、各社は自社発電で生じた余剰電力の売電に乗り出した。

現在、製鉄業界では製鉄所内での火力発電と、電力会社との共同火力発電が行われている。製鉄所内での火力発電の燃料は、副生ガスと石炭、木質チップ、共同火力発電の燃料は副生ガスと石炭だ。製鉄企業は自社発電設備を利用した売電事業も行い、三本事業に電力事業を挙げている企業もある。売電事業の1つにIPPがあるが、IPPのための発電の燃料には石炭が使用されている。このように製鉄業界では自社発電が盛んだが、工場で必要な電力のすべてを自社発電で賄わずに、一部を電力会社から購入している。なぜならば、共同火力発電所は電力会社と共同で出資して作られており、一定量は電力会社から購入する取り決めになっているからだ。ゆえに、電力構成に占める自社発電の割合は100％になっていない。

**4-2　 自社発電による脱炭素化と関連技術移転の現状**

製鉄業界では、自社発電の脱炭素化のために石炭の使用量削減が行われている。製鉄業界における自社発電の主な燃料は石炭だが、近年は石炭と木質チップを混焼した火力発電が進められている。木質チップとの混焼により作られた電力はFIT制度を用いて売電されている。生産過程における石炭使用量の削減にも取り組んでいる。製鉄に必要なコークス⁵の製造における石炭の使用量削減だ。コークスの製造の際、石炭と一緒に廃プラスチックから作られた造粒物をコークス炉に入れることで石炭の使用量を減らしている。また、副生ガスは100％回収・利用されている。自社発電設備の高効率化も十分に進んでおり、エネルギー効率は世界トップクラスだ。設備の改修もゆっくりではあるが進められている。コークス炉は建設から数十年経っており、レンガの隙間から熱が逃げて余計にエネルギーを必要としている。改修には一基につき200～300億円の費用がかかり、専門の技術者数も限られているため、すべての設備の更新には時間がかかる。

海外への技術移転については、製鉄技術の移転自体は1960年から行われている。発電に関する技術移転の情報は近年のものしか得られなかったが、2015年度にアメリカへ高炉炉頂圧発電技術（TRT）を1基、2016年度にオランダへ高効率ガスタービン複合発電技術（GTCC）を3基と中国へGTCC技術を2基移転している。このような技術移転を通して、日本の製鉄企業は世界全体の製鉄業界におけるCO2の排出量の削減に貢献している。

**図2：日本製鉄株式会社君津製鉄所の高炉**



**工場見学にて筆者撮影**

**4-3　自社発電による脱炭素化と関連技術移転の課題**

製鉄業界における自社発電による脱炭素化と関連技術移転の課題は、以下の2点だ。

***課題1：コークスを用いた生産における省エネルギー化は限界に達している***

***課題2：石炭の使用量の削減に限界がある***

　課題1については、現在、高炉で鉄鉱石をコークスで還元する製法によって鉄の生産が行われている。この製法で発生する副生ガスはほぼすべて回収されている。日本製鉄株式会社は使用電力の88％を自社発電で賄っており、副生ガスの利用率はほぼ100％だ。転炉６のエネルギー効率は日本を100とすると韓国が103、ドイツが109、中国が116であり、これ以上の省エネ化は困難といえる。

 　課題2については、石炭と木質チップを混焼した火力発電の場合、木質チップの割合を高めると効率が悪くなるため、一定量の石炭が必要となる。コークスの原料に用いる石炭の使用量削減については、造粒物の比率を高めるとコークスの品質に影響を及ぼすため、2％程しか造粒物に置き換えることができない。ゆえに、現状では石炭の使用量の削減に限界がある。

　以上のような課題があるが、製鉄業界のCO₂排出量は産業界で最も多く、更なるCO₂排出量削減が必要だ。そこで、日本や欧州では、従来のコークスを用いた還元に代わる方法として水素活用還元プロセス技術（COURSE50）という新しい製鉄プロセスが開発されている。鉄鋼業で最もCO２を排出する工程は高炉での鉄鉱石の還元であるが、水素を利用したこの製鉄プロセスが普及すれば抜本的なCO２排出量削減が可能になる。日本鉄鋼連盟は高炉が更新時期を迎える2050年頃の普及を目指している。

**5　化学業界について**

**5-1　自社発電の歴史と現状**

第二次世界大戦前、化学業界における自社発電は水力発電と石炭による火力発電が行われていた。1938年に電気事業が国の管理下となり、翌年に管理会社として日本発送電が設立された。全国の発電設備は接収され、その管理下に入れられたため、化学企業における電力事業は衰退した。戦後、電力会社からの電力供給が不安定であったため、水力発電所や石炭を燃料とする火力発電所の建設が再び進んだ。重油が安価になると重油を燃料とした火力発電が普及した。1970年代の2度の石油危機の際には、石炭の見直しと、コスト削減のための省エネ化を進め、廃熱や蒸気のエネルギーとしての有効活用を行った。1997年に京都議定書が採択されると省エネ化はコスト削減のためだけでなく脱炭素化のためにも意識されるようになった。2012年、FIT制度が開始し再エネによる自社発電を行う企業が増加した。2015年、パリ協定が採択され、クリーンな燃料への転換が進んでいる。

**表 2：デンカ株式会社の自社発電の歴史**

|  |  |
| --- | --- |
|  | **デンカ株式会社** |
| 1915年 | 創業 |
| 1921年 | 小滝川発電所完成(水力発電所) |
| 1923年 | 大所川発電所完成(水力発電所) |
| 1930年 | 海川第一・第二・第四発電所完成(水力発電所) |
| 1938年 | 大網発電所完成(水力発電所) 大淀川発電所を日本発送電株式会社に強制出資 |
| 1939年 | 青海川発電所完成(水力発電所) |
| 1961年 | 滝上発電所の発電開始(水力発電所) |
| 1962年 | 青海工場火力発電所の発電開始 |
| 1965年 | 自家用発電所の保有量が日本一になる(14ヶ所) |
| 1970年代 | ガス回収率の向上や排熱利用などの省エネ対策 |
| 2003年 | セメントの廃熱発電開始 |

**電気化学工業(株)社史編纂室（2002）『デンカ最近25年の歩み』をもとに筆者作成**

現在、企業が取り組んでいる自社発電は主に火力発電と水力発電である。火力発電に関しては、発電量が天候に左右されず、落雷や断線といった工場構外の送電線トラブルの影響を受けないため、安定電源として位置づけられている。また、火力発電は蒸気の供給も行っている。電力と蒸気の供給方法として購入電力とボイラーを組み合わせることも可能だが、自社の火力発電から電力と蒸気の両方を供給する方が高効率でコストが低い。水力発電に関しては、水力発電所の建設には水利権や漁業権などの様々な問題が絡んでおり、水源と用地の確保が困難なため、戦前からの水力発電設備を使っている企業が多い。水力発電は季節や天候によって発電量が変化し、電力の安定供給は難しい。また、水力発電設備から工場への電力供給は工場構外の送電線を通じて行われており、落雷等により電圧低下が発生すると接続されている生産設備は停止してしまう。そのため、水力発電は購入電力や他の発電設備と組み合わせて利用されている。

**5-2 自社発電による脱炭素化と関連技術移転の現状**

　化学業界における自社発電の脱炭素化の取り組みとして火力発電の燃料転換と高効率化、水力発電設備の更新が挙げられる。火力発電の燃料転換は世界の脱石炭化の流れを受けており、石炭から、天然ガスやバイオマスへと転換している。天然ガスは化石燃料だが、比較的クリーンな燃料として位置づけられている。表3を見ると、CO2や窒素酸化物(NOｘ）、硫黄酸化物(SOｘ)の排出量は、それぞれ石炭の排出量を100とすると、天然ガスの値(CO2:57,NOｘ：20～37,SOｘ:0)は石炭よりも小さい。また、天然ガスはバイオマスよりも大量調達が容易で発電効率も高いため、天然ガスへの転換が主流だ。一方で、バイオマスは、燃料の供給システムが確立されておらず、取り入れている企業はごく一部だ。バイオマスを導入している企業は、生産過程で副産物として生じるバイオマスの利用や、森林をもつ自治体との共同プロジェクトにより発電を行っている。例えば、旭化成株式会社の延岡工場では、延岡市と延岡地区の森林組合との共同実証実験を経て、現在、バイオマスと石炭の混焼発電を行っている。延岡工場は混焼発電の燃料におけるバイオマスの割合を60％以上にすることを宣言している。火力発電の高効率化は、火力発電設備をコージェネへと更新する動きが活発になっている。コージェネからは電気だけでなく熱も得られるので、エネルギー利用効率が高く、CO₂の排出量削減に貢献している。

**表3：化石燃料の排出量の比較(石炭の排出量を100とした場合)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **石炭** | **石油** | **天然ガス** |
| **CO２** | **100** | **80** | **57** |
| **NOX** | **100** | **71** | **20～37** |
| **SOX** | **100** | **68** | **0** |

**一般社団法人日本ガス協会HPをもとに筆者作成**

　水力発電については、老朽化した設備の改修・更新によって発電効率を高めている。改修・更新にはコストがかかるが、FIT制度を用いた売電によって負担を軽減している。さらに、デンカ株式会社は2019年に新青海川発電所が完成し、2022年には新姫川第6発電所を完成させる予定で、電源別エネルギー構成比における水力発電の比率を高めていく方針だ。化学業界における技術移転については、生産に関する技術に対してのみ行われている。自社発電に関する技術移転は検討段階にある。

**5-3　自社発電による脱炭素化と関連技術移転の課題**

化学業界における自社発電の脱炭素化と技術移転の課題は以下の3つである。

***課題１：発電設備の新設の余地があまり残されていない***

***課題２：火力発電の脱炭素化が限界に近づいている***

***課題3：自社発電設備の技術移転が難しい***

課題1については、火力発電は生産に必要な蒸気の分だけ行われているため、全ての蒸気を賄えるようになったら新設はされない。余剰の蒸気が発生する場合は、発電するよりも電力を購入した方がコストを抑えられるためだ。自社で蒸気を十分に賄っている工場は、既存の設備の高効率化を進めている。バイオマス燃料による火力発電は、供給源の林地の地権者が多く存在し、また不明確なことから木質チップの供給システムが確立されていない。それゆえ、製材過程の副産物として生じるバイオマスを利用するか、自治体や森林組合と共同で進めるしかない。水力発電は、日本で中規模もしくは大規模な民間の電源開発が可能な水源地がほとんどないため新設は難しい。課題2については、火力発電の燃料転換は、バイオマスの供給システムが確立されるまで比較的クリーンな天然ガスへの転換が続くが、CO2の排出量削減には限界がある。高効率化は、コージェネにおいてかなり進んでおり、全ての設備の転換後は更なる技術革新が必要だ。課題3については、化学業界での自社発電は、副産物の利用ではなく燃料を外部から調達するのが主流だ。発電技術は化学業界特有のものではなく設備メーカーのものでもあるため、化学業界の技術移転は検討段階に留まっている。

以上のことから、既に自社発電設備を十分に保有し、高効率化と燃料の転換を進めている企業では、自社発電設備の脱炭素化が行き詰まりつつある。ただし、購入電力の比率が高く自社発電設備が足りていない企業が多いので、そのような企業は自社発電の拡充と脱炭素化をさらに進めていく必要がある。

**6　製紙業界について**

**6-1　　自社発電の歴史と現状**

戦前、製紙業界は、新聞用紙需要の高まりから工場の電力を確保するために水力発電所を建設した。戦後は燃料とエネルギーが不足していたので、水力発電設備を保有する企業は他社よりも多くの生産を行うことができた。高度経済成長期、紙の増産に伴い、水力発電設備の改修・更新や石炭・石油を燃料とした火力発電の導入が進んだ。また、生産過程で生じる黒液を燃料とした発電も導入され始めた。1970年代の石油危機の際には、火力発電の燃料を石油から石炭へと替え、黒液の利用量も増やした。1980年代後半から、生産過程で生じるペーパースラッジを木屑と共に火力発電の補助燃料として使い始めた。2000年代からはRPF７と呼ばれる固形燃料とペーパースラッジを混焼する廃棄物発電が行われるようになった。

**表 4：王子製紙株式会社の自社発電の歴史**

|  |  |
| --- | --- |
|  | **王子製紙株式会社** |
| 1873年 | 創業、薪材による火力発電を開始 |
| 1895年 | 発電方法を水力発電に移行 |
| 1904年 | 苫小牧工場に水力発電所を建設 |
| 1945年～ | 老朽化した水力発電設備の改修 |
| 1953年 | 春日井工場に重油による発電のタービン(6MW)を導入 |
| 1962年 | 高圧黒液回収ボイラーの導入（日本初） |
| 1970年代 | 熱回収装置の設置、ボイラーを重油専焼から石炭専焼へ |
| 2013年 | 日南工場にバイオマスボイラー（25MW）を建設 |

**王子製紙株式会社(2001)『王子製紙社史』をもとに筆者作成**

現在、企業が取り組んでいる主な自社発電は、バイオマス発電と水力発電だ。バイオマス発電の主な燃料は木質チップと黒液だ。木質チップの場合、木質燃料の専焼と、木質燃料と微粉炭8の混焼が行われている。製紙業界は紙の原料となる木材の供給システムを活用した木質チップの調達が可能なため、他業界よりもバイオマス発電に取り組みやすい。黒液は製紙業界に特有のもので、木材からパルプを製造する全ての工場で黒液を用いた発電を行う企業もある。また、バイオマス発電で作られた電力は自社で利用するだけでなくFIT制度を用いて売電されており、売電事業は経営の柱となる事業になりつつある。日本製紙株式会社は、2018年3月に石巻雲雀野発電所でバイオマス混焼発電(149MW)の営業運転を開始した。発電規模が10MW以上のため電力会社の買取価格は入札で決まるが、年間を通じて操業は安定しており、2018年度の売上高は全体の約3.4％に当たる362億円で、営業利益は79億円となっている。中期経営計画では、バイオマス高混焼技術の確立によってエネルギー事業の営業利益目標75億円の達成を目指している。水力発電は、化学業界と同様に戦前からの水力発電設備を使っている企業が多い。どの企業も現在はバイオマス発電を主力としているため、全体のエネルギー使用量に占める水力発電の割合は小さい。

**6-2　自社発電による脱炭素化と関連技術移転の現状**

まず、製紙業界における自社発電による脱炭素化への取り組みとして、バイオマス発電と水力発電の更新が挙げられる。バイオマス発電に関しては、バイオマス発電の導入を進めた結果、ここ数十年で多くの企業が自社発電の燃料における化石燃料の割合を半分近く減少させている。水力発電に関して、水力発電設備を保有している王子製紙株式会社や特殊東海製紙株式会社は、化学業界と同じくFIT制度で売電して老朽化した水力発電設備の改修・更新を行っている。

次に製紙業界における技術移転について、1988年に、王子製紙株式会社が台湾に自家発電設備の設置計画に関する技術援助という名目で技術援助を行っていたが、近年の自社発電設備の海外への技術移転は確認できなかった。現在、製紙企業は省エネルギー設備や環境対策設備の技術移転を行っている。

**6-3　製紙業界における自社発電による脱炭素化と関連技術移転の課題**

製紙業界における自社発電の脱炭素化と技術移転の課題は、以下の3点だ。

***課題1：石炭の使用量の増加***

***課題2：バイオマス発電の燃料価格高騰の可能性***

***課題3：水力発電の新設の困難***

課題1については、バイオマス発電への積極的な取り組みから自社発電の脱炭素化が進んでいるように思われるが、石炭の使用量は増加している。図3を見ると、重油の使用量が減少している一方で、石炭の使用量は増加している。バイオマス発電の多くは微粉炭との混焼で行われており、バイオマス発電の発電量の増加に伴って微粉炭の使用量が増加したことが原因だと考える。石炭の使用量削減のためには発電方法を石炭との混焼からバイオマス専焼に切り替える必要があるが、専焼の場合はより多くのバイオマス燃料が必要となり、コストがかかる。

**図 3：製紙業界における石炭と重油の利用量の推移**

**経済産業省資源エネルギー庁（2006～2019）「経済産業省特定業種石油等消費統計調査」をもとに筆者作成**

課題2については、現時点でも木質燃料の価格は石炭に比べて高いが、今後バイオマス発電を導入する企業が増えれば、需要の増大によって燃料価格が高騰する可能性がある。そのような場合、従来の化石燃料を用いた発電が再び増加してCO2排出量が増加する恐れがある。このような事態に備えて、燃料調達にかかるコスト削減のために木質燃料の自社製造に取り組む必要がある。

課題3については、化学業界と同様に用地と水源の確保が困難であるため、既存の設備の改修・更新による高効率化を図る必要がある。また、水力発電にはマイクロ水力や小型の水力発電設備のように広大な土地や河川を必要としないものもある。しかし、これらは発電量が少なく、工場で使用する電力のほんの一部しか賄うことができないため、水力発電は規模に関係なく新設が進まないと考える。

**7　仮説の検証結果と考察**

仮説1に関しては、製鉄業界では自社発電設備の新設が進まない。副生ガスはほぼ100％利用され、日本製鉄株式会社は自社発電が使用電力の約9割を賄っており、これ以上増やすのは困難である。化学業界は、生産に必要な蒸気の分だけ火力発電の新設を行う。火力発電の最適な発電量は生産に必要な蒸気の量であるため、その量に達するまで火力発電の新設が可能だ。ただし、水力発電は用地と水源の確保が困難なため新設は見込めない。製紙業界では、バイオマス燃料を他業界よりも取り入れやすいため、大規模なバイオマス発電設備の新設が進む。しかし、燃料への需要が高まれば、燃料価格が高騰するため、そのような場合に備えて、自社でバイオマス燃料を製造する動きも進むだろう。水力発電は化学業界と同様に新設は困難である。

仮説2に関しては、製鉄業界は、これまでの省エネ化や自社発電設備の高効率化により、現在の製鉄方法での高効率化と燃料転換は難しい。そのため新たな製鉄技術の開発が求められている。化学業界では、コージェネの導入と、石炭から天然ガスへの燃料転換が進む。ただし、天然ガスは化石燃料のためCO2排出量削減には限界がある。製紙業界ではバイオマス発電が今後も増加し、化石燃料からバイオマス燃料への転換が進む。

仮説3に関しては、製鉄業界では今後も海外への技術移転は増えると考える。化学業界は自社発電設備の技術移転を行っていないが、今後の課題として技術移転を検討していく必要がある。製紙業界では省エネ設備の技術移転が行われており、黒液を用いた製紙業界特有の発電があるため、自社発電の技術移転を行うべきだ。

ここで、技術移転に関する制度について補足をしたい。自社発電技術の技術移転の方法として、私たちはJCM(Joint Crediting Mechanisim:二国間クレジット)の活用を提案する。JCMとは低炭素な技術やシステムを途上国に移転する際に、日本政府が初期投資コストの一部を補助するシステムで、技術移転によって削減されたCO２排出量を日本の削減分とすることができる。現在、初期投資が低額な省エネ設備でJCMが利用されている。しかし、JCMの補助金の上限は3ヵ年で99億円であり、大規模な自社発電設備は補助金の限度額を超えるため、自社発電設備の技術移転には利用されていない。そこで、政府は補助金の限度額を増額し、自社発電設備の技術移転を促すべきだ。

本研究で私たちは製鉄、化学、製紙の3業界に着目し、自社発電への取り組みを調査してきた。本研究の結論として、調査結果を一般化し、産業界全体への自社発電による脱炭素戦略を3つ提案する。

***提案1：自社発電設備の拡充と高効率化***

***提案2：CO２排出量のより少ない燃料への転換***

***提案3：副生ガス・副産物のエネルギー化と海外への技術移転***

自社発電設備の拡充と高効率化や、燃料転換の余地がある業界・企業は、これらを進めてくべきである。一方で、これらが既に限界に達している業界・企業は自社発電技術の海外への技術移転を進め、世界の脱炭素化に貢献していくべきだ。今回調査した3業界の自社発電を参考に各業界・企業に合った方法で脱炭素化を進めるべきだ。

しかし、3業界のように自社発電に取り組みたいと考えていても、コストを懸念して消極的になっている企業もあるだろう。そこで、私たちは自社発電のコストについて検討するため、再生可能エネルギー発電促進賦課金(以下賦課金とする)に着目し、デンカを例にとって試算した。デンカは水力発電所で作られた電気の一部をFITで売電し、収益は設備投資の回収に充てている。つまり、売電は（短期的には）利益にはならないものの、設備投資の回収を容易にしている。デンカの2018年度の総電力使用量は17.4億kWhで、そのうち購入電力は45％の7.83億kWhだ。2018年度の賦課金は2.90円/kWhなので、2018年度に支払った賦課金額は式(1)のようになる。

**7.83億(kWh)×2.90(円/kWh)＝22億7070万(円)…式(1)**

仮に、自社発電を行わずに全て購入電力だった場合の賦課金額は式(2)のようになる。

**17.4億(kWh)×2.90(円/kWh)＝50億4600万(円)…式(2)**

したがって、デンカが現在の自社発電を行っている状態での賦課金額と、自社発電を行わない場合の賦課金額の差は式(3)のようになる。

**50億4600万(円)－22億7070万(円)­＝27億7530万(円)…式(3)**

よって、デンカは自社発電を行うことで賦課金の負担を27億7530万円節約している。デンカは20年間のFIT買取期間終了後は、売電をせず自社消費に充てるため、今後も賦課金の負担を節約し続けていく。賦課金額は2章で述べたように年々高くなっており、今後も高騰が予想されるので、購入電力に頼った場合には賦課金の負担がますます増していくだろう。ゆえに、賦課金を考慮すると、電力を購入するよりも自社発電を導入した方が、コストを節約(場合によっては利益を捻出)できる。

**終わりに**

日本国内では、事業に必要なエネルギーの確保のために自社発電が盛んに行われている。現在、問題となっているのは自社発電の脱炭素化を図ることであり、企業はその点に力を入れている。積極的な取り組みにより限界が近づいてきているが、海外に目を向ければ自社発電の拡充と脱炭素化の余地は残されている。また、国内では自社発電の脱炭素化が進んでいるとはいえ、バイオマス発電の不安定性や天然ガスへの依存、脱石炭化の難しさという点で、脱炭素化への課題は残されている。これらの課題の解決策として炭素税の導入についても今後検討していきたい。さらには、今回の検証対象の業界以外の業界における自社発電の調査を行い、各業界での自社発電の脱炭素化への取り組みを調査していきたい。

最後に、この論文の執筆にあたって、様々な形でご協力を頂いた全ての企業の方々へ感謝の意を表し、この論文を結ぶ。

**【注釈】**

1. BCP（Business Continuity Plan:事業継続計画）:自然災害やテロなどの緊急事態に事業の継続や早期復旧ができるように、平常時に行うべき活動や緊急時の事業継続の方法・手段を取り決めた計画のこと。
2. 本研究では、電力会社ではない企業が自家発電設備を用いて行う発電を「自社発電」と定義する。また、売電を目的として行う発電も自社発電に含める。
3. 再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT）とは、再生可能エネルギー由来の電を国が定めた価格で電力会社が一定期間購入することを義務付けた制度のこと。
4. コージェネレーションシステムとは、発電と同時に熱を回収する高効率な発電設備で、熱電併給システムとも呼ばれる。
5. 再生可能エネルギー発電促進賦課金は、地域の電力会社がFITで再生可能エネルギーを買い取るための費用として、電力利用者の電気料金に上乗せして徴収している。賦課金の額は電力の使用量に比例しているが、今後原発廃炉費用も電気料金に上乗せされる可能性がある。
6. 黒液とは、木材パルプを生産する際に生じる液体のことである。
7. 副生ガスは原料の状態や高炉・コークス炉の稼働によって供給量が変化するため、副生ガスのみを火力発電の燃料とすることは難しい。
8. コークスとは、石炭を蒸し焼きにして炭素部分のみを残した燃料のこと。
9. 転炉は製鉄所の設備の1つ。転炉では、高炉で溶かした鉄から不純物を除去して鋼のもととなる溶鋼が作られる。
10. Refuse derived paper and plastics densified Fuelの略。マテリアルリサイクルができない古紙と廃プラスチックを原料にして作った固形燃料のこと。
11. 石炭を細かく砕いたもの。
12. ダイベストメントとは、投資を撤退すること。パリ協定を受けて脱石炭化が世界で求められるようになり、石炭火力発電事業への投資の引き上げ（＝ダイベストメント）が相次いでいる。

**【参考文献】**

* 日本経営史研究所(2002)『旭化成八十年史』旭化成
* 王子製紙株式会社(2001)『王子製紙社史』王子製紙
* 創立100周年記念事業実行委員会, コベルコビジネスサポート（2005）『神戸製鋼100年：1905－2005』神戸製鋼所
* JFEホールディングス株式会社（2000）『川崎製鉄五十年史』川崎製鉄
* 信越化学社史編纂室（1992）『信越化学工業史』信越化学工業
* 大王製紙社史編纂委員会(1995)『大王製紙50年史』大王製紙
* 電気化学工業(株)社史編纂室（2002）『デンカ最近25年の歩み』デンカ株式会社
* 東海パルプ100年史編纂チーム(2007)『東海パルプ100年史』東海パルプ
* 日本製紙株式会社(1998)『十條製紙社史　続』日本製紙
* 社史編纂委員会（1981）『炎とともに：富士製鐵株式會社社史』富士製鉄（株）
* 社史編纂委員会（1981）『炎とともに : 八幡製鉄株式会社史』八幡製鉄（株）
* 社史編纂委員会（1981）『炎とともに：新日本製鐵株式会社十年史』新日本製鐵（株）
* 北越製紙株式会社北越製紙百年史編纂委員会(2007)『北越製紙百年史』北越製紙
* 三菱化成工業株式会社(1981)『三菱化成社史』三菱化成工業
* Frey.A,Goeke.V,Voss.C(2018)『Steel Gases as Ancient and Modern Challenging Resource; Historical Review, Description of the Present, and a Daring Vision.』CHEMIE INGENIEUR TECHNIK第90号, No.10, 1384-1391

**【参考URL】**

* 国立研究開発法人国立環境研究所『日本国温室効果ガスインベントリ報告書（2019年）』<http://www-gio.nies.go.jp/index-j.html>
* 経済産業省資源エネルギー庁『経済産業省特定業種石油等消費統計調査（2006年～2019年分）』(最終閲覧日2019年10月9日）  
  <https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/energy_consumption/ec003/results.html#headline1>
* 一般社団法人日本ガス協会、天然ガスの特徴・種類（最終閲覧日2019年10月9日）<https://www.gas.or.jp/tokucho/>
* 旭化成株式会社「旭化成レポート2019」（最終閲覧日2019年10月9日）  
  <https://www.asahi-kasei.co.jp/asahi/jp/ir/library/asahikasei_report/>
* 出光興産株式会社「出光グループ出光レポート2018」（最終閲覧日2019年10月9日）  
  <https://www.idss.co.jp/sustainability/publication/idemitsu/index.html>
* 王子ホールディングス株式会社「王子グループ統合報告書2019」（最終閲覧日2019年10月9日）  
  <https://www.ojiholdings.co.jp/ir/information/group_report.html>
* 株式会社神戸製鋼所「統合報告書2019」（最終閲覧日2019年10月9日）  
  <https://www.kobelco.co.jp/about_kobelco/outline/integrated-reports/index.html>
* JFEホールディングス株式会社「JFEグループCSR報告書2019」（最終閲覧日2019年10月9日）  
  <https://www.jfe-holdings.co.jp/csr/data/index.html#anc-backNumber>
* 信越化学工業株式会社「サステナビリティレポート2019」（最終閲覧日2019年10月9日）  
  <https://www.shinetsu.co.jp/jp/csr/csr_bn.html>
* 住友化学株式会社「サステナビリティ　データブック2019」（最終閲覧日2019年10月9日）  
  <https://www.sumitomo-chem.co.jp/sustainability/library/>
* 大王製紙株式会社「大王製紙グループ統合レポート2019」（最終閲覧日2019年10月9日）  
  <https://www.daio-paper.co.jp/ir/library/report/>
* デンカ株式会社「デンカレポート2019」（最終閲覧日2019年10月9日）  
  <https://www.denka.co.jp/sustainability/report/>
* 東ソー株式会社「東ソーレポート2019」（最終閲覧日2019年10月9日）  
  <https://www.tosoh.co.jp/csr/report/>
* 日本製紙株式会社「CSR報告書2019」（最終閲覧日2019年10月9日）  
  <https://www.nipponpapergroup.com/csr/download/report/>
* 北越コーポレーション株式会社「コーポレートレポート2019」（最終閲覧日2019年10月9日）  
  <http://www.hokuetsucorp.com/ir/annual.html>
* 三菱ケミカル株式会社「サステナビリティ・レポート2019」（最終閲覧日2019年10月9日）  
  <https://www.m-chemical.co.jp/csr/reports.html>

**【調査協力企業】**

・日本製鉄株式会社（2019年7月2日君津製鉄所訪問）

・日本製紙株式会社(2019年6月19日質問状送付・7月3日回答)

・デンカ株式会社（2019年7月19日訪問）