

修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 01/16/2024

専攻名（専門分野） Department	総合機械工学専攻	氏名 Name	梁 騰予	指 導 教 員 Advisor	中垣 隆雄 印 Seal
研究指導名 Research guidance	エクセルギー 工学研究	学籍番号 Student ID number	CD 5222B110-3		
研究題目 Title	鉄鋼・化学産業間の炭素バリューチェーンに関する研究				

1. 緒言

過去 2 世紀、化石燃料は人類と経済の飛躍的な成長を促進してきたが、気候変動、環境悪化、エネルギー安全保障などの諸課題に直面している。鉄鋼業や化学工業は特に炭素集約的であり、日本では CO_2 総排出量の約 14% と 5.6%⁽¹⁾ をそれぞれ占めている。今後、化石燃料の使用量制限下において、持続可能性と資源効率を追求するためには、優先的な使用方法を考える必要も出てくる。本研究では、完全なカーボンニュートラル化に向けた過渡期において、鉄鋼業と化学工業間の炭素バリューチェーンを構築し、限られた化石資源を合理的に使用する方法を明らかにする。具体的には化学工業から排出される廃プラスチックを鉄鋼業が利用し、製鉄所から排出される副生ガスを化学工業が利用する想定で、経済性、環境影響、社会的側面を総合的に考慮し、技術戦略を検討する。

2. 研究対象エリア

日本最大の素材・エネルギー型産業の集積地である東京湾のコンビナート⁽²⁾ を対象とする。ここは東京都心の湾岸地域を挟んで、京葉地区と京浜地区の 2 つのコンビナートに分かれている。その間には陸路、東京湾アクアライン、さらには JERA 保有する東西のガス導管トンネルなどの利用可能なインフラが既設されている。京葉臨海工業地帯には、北端に JFE スチール東日本製鉄所、南端に日本製鉄君津製鉄所があり、その間に木更津市街を挟んで複数の化学産業および JERA の天然ガス火力発電所が多数存在しており、研究の対象地として最適な立地と考えられる。



図 1 東京湾コンビナートの概要

3. 還元剤合成プロセスのモデリング⁽³⁾

現行の高炉転炉法の製鉄所の操業ケースに対して全体的な評価を行う目的で、システムモデルを採用して製鉄所内の各工程での熱物質収支を解析する。製鉄所からの副生ガスを用いた化学産業へのカーボンリサイクル誘導品として、エチレングリコール(MEG)に着目し、ハイケム社の SEG[®] プロセスにおける副生ガスと添加される水素の物質量とエネルギーを、Aspen Plus 上に作成したモデルを使用して解析した。

3.1 ガス分離

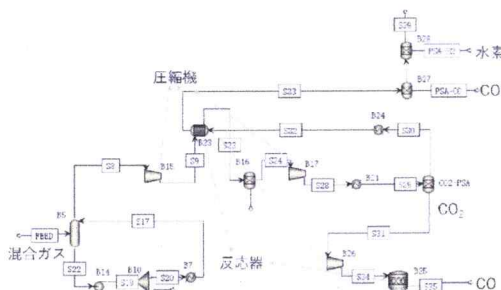


図 2 混合ガスのガス分離

高炉ガス、転炉ガス、コークス炉ガスを混合した副生ガスの分離プロセスとして、図 2 の PFD を構築した。分離器の仕様は特許(3)と文献(4)に基づいている。また、次の工程に酸素が必要なため、 CO_2 電解セルを用いて CO を製造し、酸素を分離した。

3.2 DMO の合成

図 3 の通り、 CO とメタノールの内部循環でシュウ酸ジメチル(DMO)が生成される。

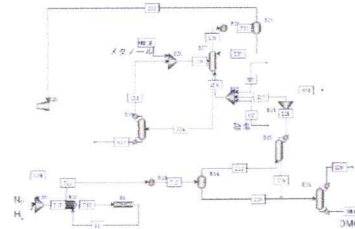


図 3 DMO の合成プロセス

3.3 MEG の合成

図 4 の通り、DMO はまず水素化され、中間体としてグリコール酸メチル (MG) を生成し、次に MG がさらに水素化されて MEG が生成される。

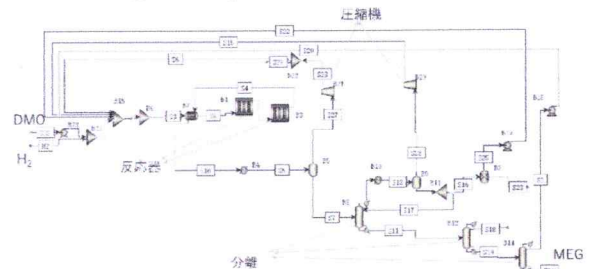


図 4 MEG の合成プロセス

4. 結果

副生ガスを全て利用した炭素フローを明らかにし、水素の利用量と MEG の生産量を計算した。君津製鉄所では 2021 年の粗鋼生産量が 7.8 Mt⁽⁵⁾ であり、同事業所の副生ガスを全てカーボンリサイクルに利用した場合、年間の MEG 生産量は 7.03 Mt で、東京湾コンビナートのエチレン年間生産能力 2.1 Mt の約 3.5 倍に相当する。電力は買電、下工程に必要な熱も水素燃焼とすれば、水素は 1.13 Mt 必要であることが分かった。

(1) 環境省(2019), 産業部門におけるエネルギー起源 CO_2 ,

https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg-mrv/emissions/yoin_2019_2_3.pdf

(2) 「エネルギーフロンティア推進戦略」策定委員会(2007), 京葉臨海コンビナート地域の現状と課題,

https://www.pref.chiba.lg.jp/sanshin/front-runner/documents/siryou1_4.pdf

(3) JFE スチール株式会社, 中川二彦, 公開番号: WO2009/116674A1, 発行日: 2009 年 9 月 24 日, 「高炉ガスの分離方法」, 国際事務局

(4) Bor-Yih Yu, Design and optimization of dimethyl oxalate (DMO) hydrogenation process to produce ethylene glycol (EG) chemical engineering research and design 121(2017), 173-190

(5) 日本製鉄(2022), 「EAST NIPPON WORKS KIMITSU」, 東日本製鉄所の君津地区, 千葉県君津市君津 1 番地