

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Process Intensification of Methane Pyrolysis using Molten Metal Bubble Column for Hydrogen Production
著者(和文)	ZAGHLOULNada Mohamad Bahaaeldin Abdelhamid
Author(English)	Nada Zaghloul
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12556号, 授与年月日:2023年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:関口 秀俊,多湖 輝興,下山 裕介,松本 秀行,森 伸介
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12556号, Conferred date:2023/9/22, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		Nada Mohamad Bahaaeldin Abdelhamid Zaghloul	
論文審査 審査員		氏 名	職 名			氏 名	職 名
	主査	関口 秀俊	教授		審査員	森 伸介	准教授
	審査員	多湖 輝興	教授				
		下山 裕介	教授				
		松本 秀行	准教授				

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は、「Process Intensification of Methane Pyrolysis using Molten Metal Bubble Column for Hydrogen Production」(水素製造のための熔融金属気泡塔を用いたメタン熱分解プロセスの強化)と題し、英文で書かれ、以下の 5 章から構成されている。

第 1 章「Introduction」では、本研究の背景として、クリーンな次世代エネルギーとしての水素の重要性やその製造方法について言及している。そしてターコイズ水素と称される二酸化炭素を排出せずに生成できる水素が近未来では重要となり、ここではこのターコイズ水素の主な製造法であるメタンの熱分解プロセスに着目したことを述べ、このプロセスの効率の向上、製品品質の改善、環境負荷の低減などのプロセス強化のためには、高い熱移動速度や固体炭素の分離特性に優れた熔融金属気泡塔を用いた分解プロセスが有効となり得ることを説明し、既往の関連する研究を概観した上で、この研究の目的や意義を明らかにすると共に論文の構成を示している。

第 2 章「Experiments of Molten Metal-Based Methane Pyrolysis」では、熔融金属気泡塔によるメタン熱分解実験を行い、その分解挙動や生成した炭素について考察している。ここでは、様々な反応温度や熔融金属種において、これらがメタン転化率に及ぼす影響を調べている。その結果、熔融金属が存在しない管状反応器と比較して、錫を用いた熔融金属気泡塔では、分解反応速度の上昇が確認され、プロセスが強化されることを示している。そしてニッケルや銅を錫に添加すると反応速度はさらに上昇し、これらの金属には高い触媒活性があることを見出している。また、反応で生成した炭素の電子顕微鏡観察により、熔融金属表面から採取された炭素は独特の積層粒構造を示すことや錫が不純物として存在すること、ニッケルなどの触媒活性をもつ金属の添加は、炭素のラマンスpekトルの D-band と G-band のピーク比を減少させ、アモルファス成分が減少する傾向があることを報告している。加えて、熔融金属を設置した水平反応器を用いて熔融金属表面の触媒効果を確認する実験も行い、得られた結果を次章の解析に用いている。

第 3 章「Catalytic Surface Reaction Kinetic Analysis」では、前章で得られた結果の速度論解析を行っている。ここでは、メタン熱分解反応が、気泡内の気相反応と、気泡と熔融金属の界面での触媒表面反応の並列で進行すると考え、これらの反応の寄与率を推算している。その結果、全ての熔融金属種で、0.7 を超える割合で触媒表面反応が支配的であることを示している。また、ニッケルを添加した場合が全ての温度域において触媒表面反応速度が大きく、一方、銅の場合には添加量で速度が変化し、最適な添加量があると示唆している。さらにこのモデルを水平反応器にも適用し、推算結果は実験結果と良好な一致を示すと共に、水平反応器では触媒表面反応の寄与が小さく、気泡化することが重要であると述べている。加えて、この反応モデルを用い、オリフィス径や気泡塔高さなどの条件を変化させて転化率を推算し、その結果、オリフィス径や熔融金属種が転化率に及ぼす影響を定量化し、この反応モデルは反応器を設計する際に有効であることを示している。

第 4 章「Plasma-assisted Molten Metal-Based Methane Pyrolysis」では、更なるプロセス強化の手段として、放電で生成させたプラズマを導入したメタン熱分解実験について述べている。ここでは気泡塔反応器や水平反応器においてメタン導入口に電極を設置し、高電圧を印加させてプラズマを発生させ、その効果を調べている。その結果、両反応器ともプラズマの効果が見られたものの電極近傍に生成する炭素により放電が停止するため、反応器の改良が必要と述べている。

第 5 章「Conclusions」では、本研究により得られた成果を総括すると共に今後の課題について言及している。これを要するに、本論文は、水素製造のためのメタン熱分解プロセスについて、プロセス強化となり得る熔融金属気泡塔を用いた分解法について実験的に検証すると共に、そのプロセス強化機構を明らかにすることにより、この水素製造法の実用化に向けた基礎的知見を得たものであり、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位論文として十分価値があるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。