

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：32644

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15683

研究課題名（和文）水素吸蔵合金を用いた低温下メタン合成の検証

研究課題名（英文）CO₂ methanation using hydrogen storage alloys at ambient temperature

研究代表者

源馬 龍太（Gemma, Ryota）

東海大学・工学部・講師

研究者番号：10803546

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：水素 + 二酸化炭素混合雰囲気下における、水素吸蔵合金粉末のボールミリングによる低温化でのメタン生成挙動について調査を行った。その結果、二酸化炭素が消費されるよりも早く水素量が減少する挙動がメタン生成に先立つことが明らかとなった。すなわち、合金表面での触媒反応によりメタンが生成するよりも先に、水素の一部が合金内部に吸収されることがわかった。この挙動は、水素固溶量の多い合金を用いた場合の方が速やかであった。すなわち、一度固溶した原子状水素が気相/固相界面の反応場へ供給されることによりメタン生成の開始が促進されていることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水素吸蔵合金であるLa-Ni系合金粉末を用いてH₂+CO₂雰囲気にてボールミリングを行うことにより、メタン生成が可能であることが示された。合金粉末は相分離を生じるが、これに伴い合金中に吸蔵された水素が放出され、この水素の放出とメタン生成の開始に相関があることが示唆された。相分離によりLa酸化物等にNiが担持されたナノ構造をとるが、このままボールミリングを継続した場合でもメタン生成が継続することから、合金粉末は触媒前駆体と見なされることが明らかとなった。また、炭酸化物中の炭素がメタンの原料となりうることが示されたことから、関連する研究を展開する上で、示唆に富む成果が得られたものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：We investigated the CO₂ methanation behavior of hydrogen storage alloy powder by ball milling in a hydrogen + carbon dioxide mixed atmosphere. As a result, it was clarified that the behavior that the amount of hydrogen decreases faster than the consumption of carbon dioxide precedes the production of methane. That is, it was found that a part of hydrogen is absorbed in the alloy before methane is generated by the catalytic reaction on the alloy surface. This behavior was quicker when an alloy with a large amount of hydrogen solubility was used. That is, it was suggested that the onset of methanation was promoted by atomic hydrogen supply to the reaction site at the gas/solid interface.

研究分野：水素貯蔵、薄膜工学、材料工学

キーワード：CO₂メタン化 ボールミリング メカノケミカル反応

1. 研究開始当初の背景

現在、世界中で導入が進められている、太陽光発電をはじめとする再生可能エネルギーによる電力は、その出力不安定性からベース電源となることが難しい。しかし、発電した電力をエネルギー媒体の形で貯蔵することで、安定した出力が可能なエネルギー源として利用することができる。この方法の一つとして、再生可能エネルギーによって生成した H_2 と、大気より分離した CO_2 からメタン (CH_4) を合成し、これをカーボンニュートラルな合成燃料あるいは化学原料として貯蔵・利用する、 CO_2 のメタン化が提案・研究されている [1]。この背景には、炭素がリサイクルされることによって大気中の CO_2 濃度の急激な増加が抑えられ、且つ、燃料を消費地において合成することで、地政学的なリスクのある輸入化石燃料へのエネルギー依存度を減らすことができるという期待もある。

CO_2 と H_2 の反応による CH_4 の生成は、サバティエ (Sabatier) 反応として知られ、もともとは Ni 等を触媒として $300^\circ C$ から $400^\circ C$ の高温かつ高圧下で生じる反応として知られているが、水素吸蔵合金である La-Ni 系合金を触媒として用いることもできる [2]。しかし、メタン収率を 90% まで上げるには高温高圧 ($300-400^\circ C$ 、5-30 気圧) が必要とされる。そのため、高温に長時間さらすことによる触媒能の低下の恐れなどに鑑みると、反応温度を下げるのが望ましい。

そこで、外部加熱を必要としないメタン生成方法として、ボールミリングによるメカノケミカル反応を利用した低温下でのメタン生成法が検討されており、LiH や NaH などのアルカリ金属水素化物を用いる方法が報告されている [3]、反応後の副生成物としてアルカリ金属炭酸化物や炭酸化物が生じ、アルカリ金属水素化物が失活してしまうため、これを還元・再生するプロセスが必要となる。よって、高い触媒活性を保ちつつ低温下で効率よくメタン生成が可能な合成方法が求められている。

2. 研究の目的

上記背景を踏まえ、本研究では、その表面において高い水素解離触媒能を示す LaNi 系の水素吸蔵合金を用いたメカノケミカル反応による CO_2 メタン化について検討を行い、そのメカニズムについて調査することを目的とした。具体的には、①メタン生成に伴う合金組織の変化とメタン生成挙動の関連、②ボールミリング中における容器内ガス成分のその場測定による、合金内水素のメタン生成への影響評価、さらに、合金組織が相分離を生じ、一部炭酸化物が生成していることが判明したことから、③炭酸化物の H_2 中ボールミリングによるメタン生成反応の有無の確認、以上3点に着目し調査を行った。

なお、本研究では反応中その場ガス分析が必要となることから、ボールミリング装置とガス導入系 (および圧力測定系)、ガス検出系を組み合わせる装置改造を行い、目的に応じてガスをフローさせない閉鎖系での測定 (バッチ式) とガスをフローさせたまま測定する開放系での測定 (連続式) を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

ボールミリングには遊星ボールミルがよく使用されるが、遊星ボールミルの場合、ボールミル容器の自転・公転運動のために、その場圧力・ガス成分測定を行うには大きな制約がある。そこで本研究では、振動ボールミル (日新技研 スーパーミスニ NEV-MA8) を使用した。装置構成の模式図を図 1 (バッチ式および連続式) に示す。ボールミル容器の蓋には、ガスの入口と出口の確保のため Swagelok® の VCR® 継ぎ手 (1/4 インチ) を溶接し、また、ガスクロマトグラフィー (GC) のためのガス採取口を設けた。VCR® のガスケットには目開き $0.5\mu m$ の焼結 Ni フィルターガスケットを用いた。ガス導入系とガス検出系それぞれには、コイル状に巻いた $\phi 1/8$ インチの SUS304 チューブを用いて接続した。容器と蓋は Viton® の O リングを介して密閉した。

実験に用いた容器とボールは共に SUS304 製で、 $\phi 10$ mm のボール 15 個とともに粒径 $53\sim 75\mu m$ に篩い分けた LaNi₅ 水素吸蔵合金粉末 (日本製鋼所) もしくは、粒径 $45\mu m$ 以下に篩い分けた LaNi_{4.6}Al_{0.4} 水素吸蔵合金粉末 (日本製鋼所) を 0.500g 秤量し容器に投入した。その後容器の蓋を閉め、容器内部を 5 Pa 以下まで真空引きを行った。その後水素ガス (純度 7N) と二酸化炭素ガス (純度 3N) を 1:1 の割合で全圧 1.1 atm になるように高圧ジューベルツ装置を用いて導入した。サバティエ反応では水素と二酸化炭素が 4:1 で反応することが知られているが、先行研究において、ボールミリングを用いたメタン生成反応では想定より多くの二酸化炭素が消費されたことから、1:1 の比率で実験を行った。ボールミリングを行う前のガス組成については、バッチ式の測定においては、ガスクロマトグラフィー (GC: SHIMADZU, GC-14B) を用いて測定した。その後振動型ボールミルを用いて容器を $20^\circ C$ の流水により水冷しながら、振動数 11.7 Hz にてボールミリングを行った。ボールミリング中のガス圧力については、自作の高圧ジューベルツ装置を用いてその場測定を行い、容器内のガス組成については、時間経過毎に GC を用いて分析を行った。

連続式での測定においても実験方法はバッチ式とほぼ同様であるが、ガス導入系にはマスフローコントローラー (KOFLOC) を設け、流量をそれぞれ $H_2 : CO_2 = 4 : 1$ (8 ccm : 2 ccm) でフロ

一させた。ガスフロー時は全圧が 2×10^{-2} Pa となるよう設定した。ガス検出系を四重極質量分析 (QMS: Pfeiffer QMA200, Prisma) ユニットに変更し、気体成分の分析を行った。尚、連続式測定における到達真空度は 2×10^{-5} Pa であった。

実験後、試料を容器から取り出し XRD (X-Ray Diffraction, Rigaku, MiniFlex600) による相の同定、SEM-EDX (Scanning Electron Microscope /Energy Dispersive X-Ray Analysis, JEOL, JMS-7100F) による表面観察及び元素分析を行った。

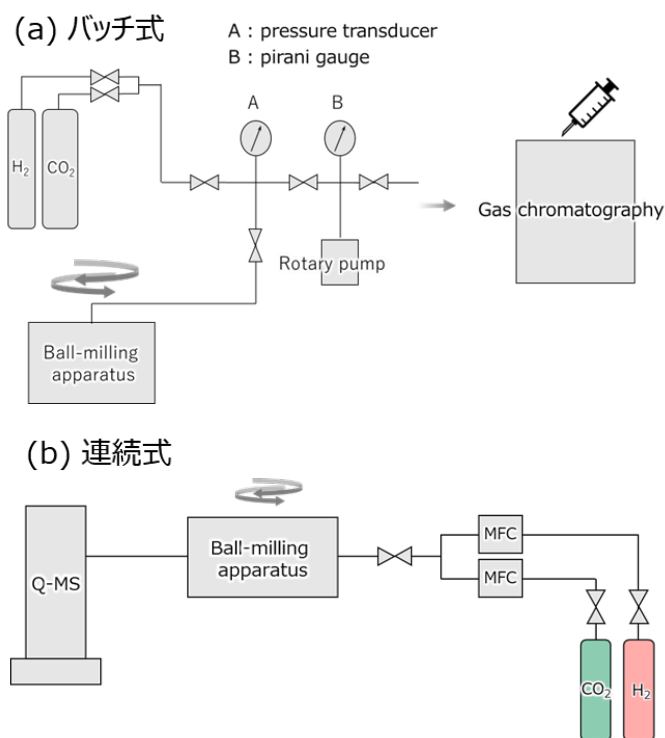


図 1 本研究で用いたボールミリング中ガス分析装置構成の模式図

(a)バッチ式反応系 (b)連続式反応系

4. 研究成果

①メタン生成に伴う合金組織の変化とメタン生成挙動の関連

バッチ式での測定結果より、ボールミリング開始初期 (~2 時間) において、圧力が一時的に減少し、2 時間から 4 時間の間に圧力が増加、さらにボールミリングを続けると圧力が減少し続けることが確認された。このことから、ミリング初期においてメタン化反応が活発に進行していることが示唆された (図 2)。GC によるガス分析結果からは、ボールミリング開始後約 2~3 時間でメタンの生成が可能であることが判明した。また、初期の圧力減少は H_2 ガスの消費によるものであることがわかった (図 3)。

CO_2 無しで、 H_2 雰囲気のみでボールミリングを行った場合の圧力変化からも、 H_2 圧力の減少が認められた (図 4)。このことから、反応初期において、ボールミリングに伴う粉砕により生じた清浄表面から水素が合金に吸蔵されているものと推測される。その後に見られる緩やかな水素分圧の上昇は、合金からの水素の放出に対応しているものと考えられる。この点について XRD を用いて各ボールミリング時間ごとの組織変化を調べたところ、水素放出が開始するタイミングで合金が Ni と La 酸化物、La 炭酸化物へと相分離を生じ始めていることが判明した (図 5)。

すなわち、合金の相分離に伴い、一時吸蔵された水素が放出されていることが強く示唆された。また、上記の相分離の進行 (合金相の消失) に伴いメタンの生成が開始していることも判明し、この相分離した状態でボールミリングを続けた場合にもメタン生成が継続することが見出された。また、アトムプローブトモグラフィー (APT) によ

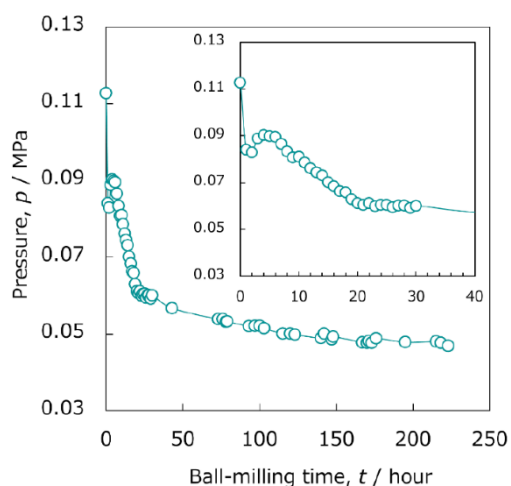


図 2 H_2+CO_2 雰囲気での $LaNi_5$ 粉末のボールミリング中における容器内圧力の時間変化

りボールミリング後の試料について原子レベルでの元素分析を行ったところ、この相分離組織は、メタリックなNiが数nm程度の幅でLa酸化物や炭酸化物を含む化合物中に微細に分散されたナノ構造化した複合体となっていることがわかった。すなわち、通常の触媒構造である金属触媒が酸化物担体に担持された構造に非常によく似た構造が、相分離により自然に形成されていることが示された。ただし、実験後の合金粉末中には、ボールミル容器およびボールの素材であるSUS304に由来するFeおよびCrが混入していることもEDXおよびAPTから認められている[4,5]。

LaNi₅ではなく、Ni粉末を用い、Al₂O₃粉末（Niの容器内壁への固着防止）とともに同様な実験を行った場合にも、ボールミリングの継続とともにメタン生成が続いたことから、メカノケミカル法により機械的エネルギーが加わり続けることにより、Ni表面上において室温でのメタン化反応が可能であることが示唆された。また、LaNi₅を用いた場合、CO₂からのCH₄への転換率は、容器温度37°Cにおいて40%程度（220時間）であったが、容器温度を60°Cに保持した場合は、転換率は70%（150時間）まで向上した。なお、低温での反応において危惧される炭素の析出は本研究では認められなかった。APTの結果とXPSによる表面分析の結果、未反応のCO₂の一部は、La炭酸化物の形成に消費されたと結論付けた。

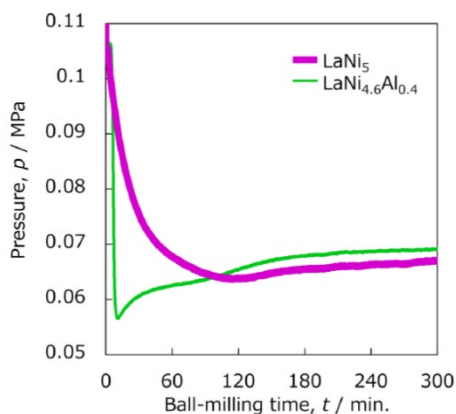


図3 H₂雰囲気でのLaNi₅粉末のボールミリング中における容器内圧力の時間変化

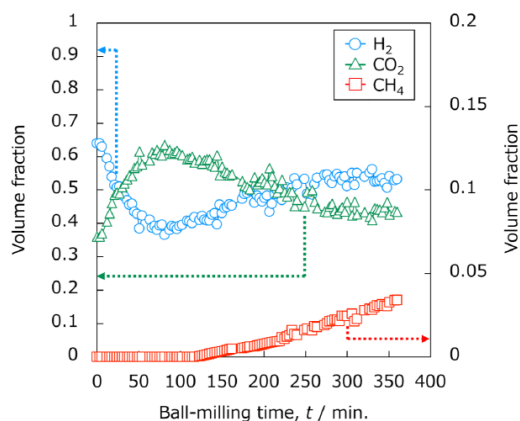


図4 H₂+CO₂雰囲気でのLaNi₅粉末のボールミリング中における容器内ガス成分の時間変化

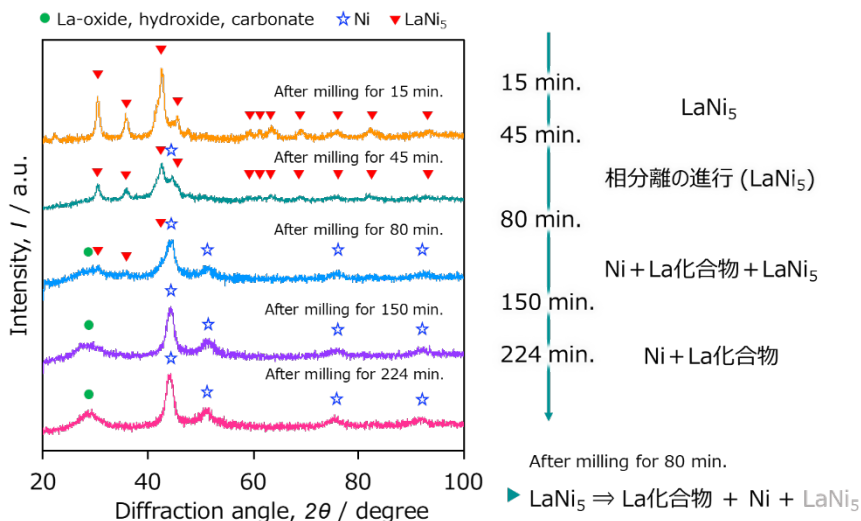


図5 H₂+CO₂雰囲気で行ったLaNi₅粉末のXRD測定結果

②ボールミリング中における容器内ガス成分のその場測定による、合金内水素のメタン生成への影響評価

①の結果から、合金内に吸蔵された水素量がメタン生成挙動に影響があると考えられたため、同温度・同圧力における水素吸蔵量がLaNi₅の6倍程度であるLaNi_{4.6}Al_{0.4}合金粉末との比較を行った。その結果、図6に示すように、LaNi_{4.6}Al_{0.4}合金粉末を用いた場合にはより早くメタン生成が開始することがわかった。このことから、合金内部から表面へ供給される原子状水素がメタン生成の開始に寄与していることが示唆された。

③炭酸化物の H₂ 中ボールミリングによるメタン生成反応の有無の確認

①の結果において、La の炭酸化物が形成されたと考えられたことから、La 炭酸化物 (La₂(CO₃)₃·8H₂O) 0.250 g と Ni 0.250 g の混合粉末を H₂ フロー中でボールミリングすることによりメタンが生成するか、連続式の測定により確認を行った。水素流量は 10 ccm とした。その結果、図 7 に示すように、CO₂ の脱離が生じた後にメタン生成が確認された。また、ミリング開始直後に H₂O の増加も確認できるが、これは結晶水が一部脱離した結果と考えられる。ミリング後の粉末の EDX による元素マッピング (図 8) からは、Ni と La の分布が重なっていることから、Fe、Cr などの SUS304 由来の不純物とともに偏析の無い均一の粒子を形成しており、複合化が生じていることが明らかとなった。以上より、メカノケミカル法によるメタン化反応では炭酸化物の炭素がメタンの炭素源となりうることを示された。

以上より、水素吸蔵合金である LaNi₅ 合金粉末および LaNi_{4.6}Al_{0.4} 合金粉末を用いて H₂+CO₂ 雰囲気にてボールミリングを行うことにより、メタン生成が可能であることが示された。メタン生成開始時は、合金粉末は相分離を生じ始めており、これに伴い合金中に吸蔵された水素が放出される。この水素の放出とメタン生成の開始に相関があることが示唆された。相分離により La 酸化物および炭酸化物に Ni が担持されたナノ構造をとるが、この構造のままボールミリングを継続した場合でもメタン生成が継続することから、合金粉末は一種の触媒前駆体と見なされることが明らかとなった。また、La が炭酸化された場合でも、炭酸化物中の炭素がメタンの原料となりうることを示されたことから、今後、関連する研究を展開する上で示唆に富む成果が得られたものと考えられる。

<参考文献>

- [1] S. Tada *et al.*, Int. J. Hydrog. Energy 42 (2017) 30126., Züttel *et al.*, Chimia 69 (2015) 264.
- [2] H. Ando *et al.*, J. Mol. Catal. A: Chemical 144(1) (1999) 117-122.
- [3] 市川貴之, 小島由継「二酸化炭素からのメタンガス合成」日本工業出版 クリーンエネルギー-2011年6月号, p18-21
- [4] K. Yatagai *et al.*, Int. J. Hydrog. Energy 45 (2020) 5264-5275.
- [5] K. Sawahara *et al.*, Int. J. Hydrog. Energy 47 (2022) 19051-19061.

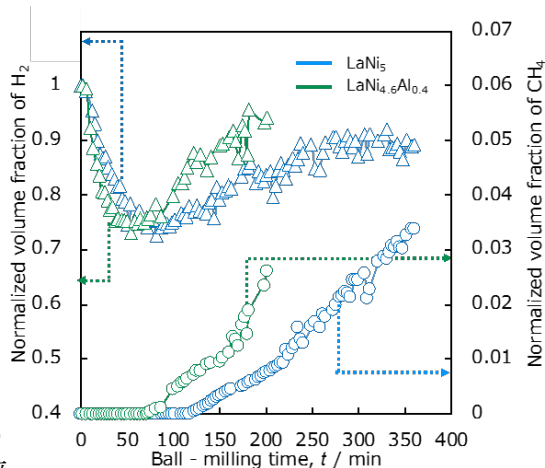


図 6 H₂+CO₂ 雰囲気での LaNi₅ 粉末および LaNi_{4.6}Al_{0.4} 粉末のボールミリング中における容器内ガス体積分率の時間変化

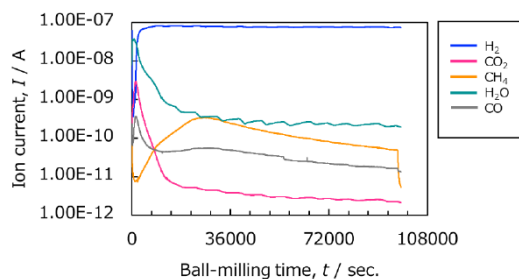


図 7 H₂ フロー中での La₂(CO₃)₃·8H₂O + Ni 混合粉末のボールミリングにおける容器内ガス分析結果 (連続式測定)

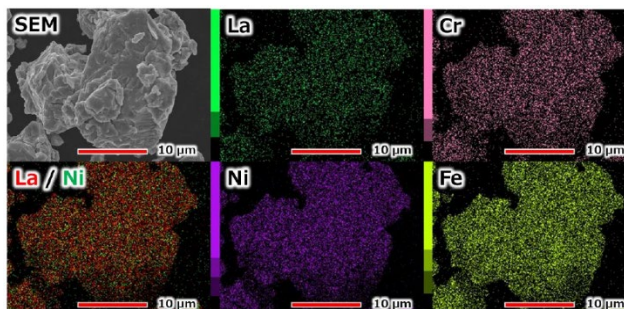


図 8 H₂ フロー中でボールミリングを行った La₂(CO₃)₃·8H₂O + Ni 混合粉末の EDX マッピング結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kohei Yatagai, Yuto Shishido, Ryota Gemma, Torben Boll, Haruhisa Uchida, Kazuya Oguri	4. 巻 45
2. 論文標題 Mechanochemical CO2 methanation over LaNi-based alloys	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 5264-5275
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijhydene.2019.07.055	査読の有無 有
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 該当する
1. 著者名 Kohei YATAGAI, Ryota GEMMA, Haru-Hisa UCHIDA, Kazuya OGURI	4. 巻 31
2. 論文標題 LaNi5を用いた CO2とH2からのCH4の生成	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Science	6. 最初と最後の頁 31101-1-31101-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2978/jjas.31101	査読の有無 有
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 Keito Sawahara, Ryota Gemma	4. 巻 33
2. 論文標題 In-situ monitoring of CO2 methanation: pressure change upon ball-milling of LaNi5 under CO2 and H	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Science	6. 最初と最後の頁 33107-1-33107-4
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 有
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 Keito Sawahara, Kohei Yatagai, Torben Boll, Astrid Pundt, Ryota Gemma	4. 巻 47
2. 論文標題 Role of atomic hydrogen supply on the onset of CO2 methanation over La-Ni based hydrogen storage alloys studied by in-situ approach	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 19051-19061
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijhydene.2022.04.089	査読の有無 有
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 該当する

〔学会発表〕 計22件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 澤原 馨登、源馬 龍太
2. 発表標題 振動型ボールミルを用いたLaNi5によるCO2メタン化反応のモニタリング
3. 学会等名 2020年第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林 諄眞、源馬 龍太、中廣 駿太郎
2. 発表標題 スパッタリング法により作製したLa-Ni系合金薄膜上におけるCO2メタン化反応
3. 学会等名 2020年第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木 琢也、源馬 龍太
2. 発表標題 TiFe系合金粉末を用いたCO2のメタン化
3. 学会等名 2020年第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryota Gemma
2. 発表標題 Recent hydrogen storage-related topics and application of hydrogen storage alloys for CO2 methanation reaction
3. 学会等名 Tokai University x DTU Joint Energy Seminar -Energy Transitions: Decarbonization of Energy Systems for Sustainable Society: Improving QoL-
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 澤原 馨登、源馬 龍太
2. 発表標題 振動型ボールミルを用いたLaNi5によるCO2メタン化反応のモニタリング
3. 学会等名 東海大学マイクロ・ナノ啓発会【Tµne】第13回学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 諄眞、中廣 駿太郎、源馬 龍太
2. 発表標題 スパッタリング法により作製したLa-Ni系合金薄膜上におけるCO2メタン化反応
3. 学会等名 32nd '20 SAS Symposium
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 澤原 馨登、源馬 龍太
2. 発表標題 振動型ボールミルを用いたLaNi5によるCO2メタン化反応のモニタリング
3. 学会等名 32nd '20 SAS Symposium
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 源馬 龍太
2. 発表標題 水素吸蔵合金によるCO2のメタン化と微細組織変化
3. 学会等名 Tµne第12回学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 澤原 馨登、源馬 龍太
2. 発表標題 振動型ボールミルを用いたLaNi5によるCO2 メタン化反応のモニタリング
3. 学会等名 31st '19 SAS Symposium
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森木 翔平、源馬 龍太
2. 発表標題 LaNi5とCO2の反応性
3. 学会等名 31st '19 SAS Symposium
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 源馬 龍太
2. 発表標題 アトムプローブによる金属中重水素の検出と水素吸蔵材料を用いたCO2のメタン化
3. 学会等名 カメカテニカルセミナー2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kohei Yatagai, Ryota Gemma, Torben Boll, Haruhisa Uchida, Kazuya Oguri
2. 発表標題 Impact of CO2 pretreatment on methanation over La-Ni based alloys
3. 学会等名 Hydrogen-Metal Systems, Gordon Research Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryota Gemma, Kohei Yatagai, Torben Boll, Haruhisa Uchida, Kazuya Oguri
2. 発表標題 Mechanochemical CO2 methanation over LaNi-based alloys
3. 学会等名 Hydrogen-Metal Systems, Gordon Research Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryota Gemma
2. 発表標題 CO2 methanation over hydrogen storage alloys via mechanical milling -Study by atom probe tomography (APT)-
3. 学会等名 Asia Pacific Society for Materials Research (APSMR) 2019 Annual Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kohei Yatagai, Torben Boll, Haruhisa Uchida, Kazuya Oguri, Ryota Gemma
2. 発表標題 Methanation of CO2 by LaNi5 alloy by using ball-milling method
3. 学会等名 The 8th World Hydrogen Technologies Convention (WHTC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷田貝 昂平, 鈴木 琢也, Boll Torben, 内田 晴久, 小栗 和也, 源馬 龍太
2. 発表標題 LaNi5を用いたCO2からのメタン生成
3. 学会等名 2019年 希土類討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keito Sawahara, Ryota Gemma
2. 発表標題 Early stages of mechanochemical methanation over La-Ni based alloys
3. 学会等名 3rd International Hydrogen Energy Congress and Exhibition (IHEC2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keito Sawahara, Kohei Yatagai, Tomochika Hayashi, Takuya Suzuki, Shohei Moriki, Haru-Hisa Uchida, Kazuya Oguri, Ryota Gemma
2. 発表標題 In-situ monitoring of CO ₂ methanation: pressure change upon ball-milling of LaNi ₅ under CO ₂ and H ₂
3. 学会等名 Thermec'2021 Virtual Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 澤原 馨登、源馬 龍太
2. 発表標題 La-Ni系合金によるメカノケミカルCO ₂ メタネーション
3. 学会等名 2021年第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 澤原 馨登、源馬 龍太
2. 発表標題 水素吸蔵合金を用いたメカノケミカルCO ₂ メタネーションにおける原子状水素供給の影響
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋季(第169回)講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 澤原 馨登、源馬 龍太
2. 発表標題 La化合物を用いたメカノケミカルCO2メタネーションのin-situ測定
3. 学会等名 33rd '21 SAS Symposium
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keito Sawahara, Yuichi Sawamoto, Torben Boll, Ryota Gemma
2. 発表標題 The Impact of Atomic-H supply for Mechanochemical CO2 Methanation
3. 学会等名 Material Research Meeting (MRM) 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Referenced publications https://www.knmf.kit.edu/publications.php
--

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
研究協力者	谷田貝 昂平 (Yatagai Kohei)	東海大学・工学研究科・大学院生 (32644)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	澤原 馨登 (Sawahara Keito)	東海大学・工学研究科・大学院生 (32644)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
ドイツ	Karlsruhe Institute of Technology (KIT)			