

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02465

研究課題名(和文) リチウム合金の窒素解離能発現メカニズムと原子拡散ダイナミクスの解明

研究課題名(英文) Research on nitrogen dissociation mechanism and atom dynamics for Lithium alloys

研究代表者

宮岡 裕樹 (Miyaoka, Hiroki)

広島大学・自然科学研究支援開発センター・特定教授

研究者番号：80544882

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、Li合金及びNa合金を用いた「活性窒素」生成/利用技術について、特に、窒素分子解離能とその発現メカニズム、アンモニア合成特性を実験的及び理論的手法により理解することを目的とした。窒素解離能と物性の相関性を調査した結果、Li合金はLiの化学状態、Na合金は熱力学的安定性が窒素解離温度に影響を与えることが明らかになった。また、Li-14族合金系を三元系とし組成を変化させることで、窒素解離能等を制御できる可能性を見出した。LiHを用いたNH₃合成について、化学的に安定な物質を混合することで反応速度を改善することに成功した。さらに、Na窒素固溶体を介したNH₃合成プロセスを新たに見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、Li及びNa合金は、貴金属触媒を必要とせず、大気圧条件下でNH₃合成が可能であることがわかった。また、これらの窒素解離能と相関性を示す物性を解明し、その制御方法についても検討した。以上の成果は、アルカリ金属を用いたNH₃合成プロセスの設計指針となる。LiHを用いたNH₃合成については、本研究にて反応速度制御メカニズムが明らかになっており、実用的な研究への展開が期待される。さらに、これまでにないNa窒素固溶体を介したNH₃合成手法が見出されており、本系における新たな展開として学術的に興味深いだけでなく、資源的に優れたNaを利用する点で実用面での発展も期待できる。

研究成果の概要(英文)： In this work, nitrogen dissociation properties and mechanism, ammonia synthesis properties of lithium and sodium alloys are investigated by experimental and theoretical methods for establishment of “active nitrogen” generation and utilization techniques. It is clarified that the nitrogen dissociation properties of Li and Na alloys are related to chemical state of Li and thermodynamic stability of the alloys, respectively. By synthesizing ternary alloys and varying its composition, the properties such as nitrogen dissociation can be controlled. For the ammonia synthesis of LiH, it is found that the kinetics can be improved by mixing with chemically stable materials. In addition, the ammonia synthesis process via formation of Na and N solid solution is found as a novel chemical looping process.

研究分野：材料科学

キーワード：構造・機能材料 化学物理 物性実験 電子顕微鏡 理論計算

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現在、青色発光ダイオードの材料である窒化ガリウム(GaN)やエネルギーキャリアとして注目されているアンモニア(NH₃)といった窒化物が様々な分野で実用されており、最近では太陽電池や光触媒といった分野へも展開されつつある。これらの窒化物を気体の N₂ から合成する場合、800 以上の高温やプラズマの利用といった厳しい条件が必要となる。これは、N₂ の有する三重結合(N≡N)が動力学的に安定で、その解離に高い活性化エネルギーが存在するためである。故に、既存の窒化物合成では、原子状の N を有する NH₃ 等を原料に用いる場合が多い。つまり、窒化物合成においては、如何にして N₂ の安定な三重結合を解離し、原子状 N、つまり『活性窒素』を生成して、利用するかが重要となる。

申請者らは、これまでの研究において、リチウム(Li)の高い窒素解離能と拡散性を利用した活性窒素の生成及び利用技術を提案し研究を行ってきた。金属 Li は、N₂ と室温付近で反応し窒化物を形成する、すなわち、Li は高い N₂ 解離能を有すると言えるが、再度この反応を利用するためには高温で金属 Li を再生する必要がある(Li₃N の場合、600 以上)。そこで、金属的な Li を有する合金相に注目し、その窒素解離能を評価した結果、Li と 14 族元素(C, Si, Ge, Sn, Pb) の合金が、比較的低温(室温~400)で N₂ を解離し窒化することが見出された。これは、合金中の Li が金属 Li と同様に N₂ 解離能を有していることを示している。また、N₂ との反応過程において Li が合金表面に拡散(外方拡散)することが電子顕微鏡観察により明らかになっている。この Li 合金の N₂ 解離能と Li の拡散性を利用した NH₃ 合成を行った結果、窒化、NH₃ 生成、合金再生という多段階の化学反応により、400 以下、0.1 MPa 以下の条件で NH₃ を合成すること可能であった。この際、反応に伴い Li が脱離、再挿入するプロセスを経て初期の合金相が再生することから、この NH₃ 合成は擬触媒(ケミカルルーピング)プロセスであると言える。

以上の先行研究から、Li 合金が N₂ 解離能を有すること、Li が反応媒体として拡散する現象が重要であること、Li 合金を擬触媒的に用いることで比較的低温/低圧で NH₃ が合成可能であること、が明らかになった。しかしながら、これまでの研究では、Li 合金を用いた窒素制御技術の可能性及び反応プロセスの概要を現象的に理解したに過ぎず、本技術で重要な Li 合金の N₂ 解離能の発現メカニズムや反応過程における原子拡散のダイナミクスの詳細については未だ理解するには至っていない。

2. 研究の目的

本研究では、Li 合金の N₂ 解離能発現メカニズムを理解するため、「合金の物性と N₂ との反応性の相関を実験及び理論の視点から解明する」、反応過程における Li の拡散ダイナミクスを理解するため、「合金からの Li 脱離/挿入プロセスを分析する」、ことを主たる目的とする。また、Li と同じアルカリ金属で N₂ 解離能を示すことが期待される Na について、同様な方法で N₂ 解離能の有無や窒化物合成に関する研究を行い、新たな学術領域としての体系化を進める。

3. 研究の方法

Li 及び Na と 14 族元素の二元或いは三元合金について、メカノケミカル法及び熱化学法を用いて単相試料を合成した。また、市販の高純度水素化物(LiH, NaH)を用意した。これらの試料について、X 線回折(XRD)を用いた相同定、核磁気共鳴(NMR)分光を用いた化学状態分析、及び昇温脱離ガス分析(TDS)を用いた熱力学的安定性評価を行った。試料の窒化、アンモニア合成特性等については、熱重量分析(TG)、質量数分析(MS)装置、及び自作のガス流通型反応装置を用いて評価した。Na 合金については、水素-窒素混合ガスを用いたアンモニア合成触媒特性を評価した。各反応での生成物については、XRD 及び電子顕微鏡等を用いたキャラクタリゼーションを行った。

4. 研究成果

Li-14 族元素(M=Si, Ge, Sn, Pb)合金について、先行研究を基に条件を最適化することで Li_{4,4}M 単相を合成し、TG を用いた窒素解離温度評価、NMR を用いた化学状態分析を実施すると共に、ガススイッチングによるケミカルルーピングアンモニア合成特性の評価を実施した。図 1 に窒素解離温度と ⁷Li の化学シフト値を示す。比較として、金属 Li 及び LiH についても同様な評価を行った。ここで、Li_{4,4}M 合金は図中に示すような同様な結晶構造を有するため、合金中 Li の化学状態による窒素解離能の違いを議論できると考えられる。金属 Li が最も低温で窒素解離が可能で且つ最も大きな化学シフト(ナイトシフト)の値を示す。Li_{4,4}M 合金にお

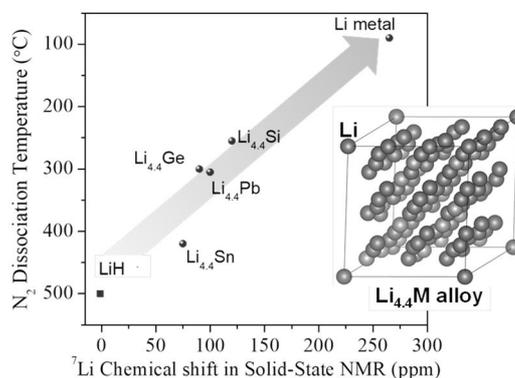
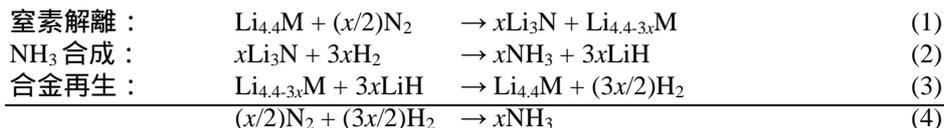


図 1 窒素解離温度と Li の化学状態の相関性[1]

最も低温で窒素解離が可能で且つ最も大きな化学シフト(ナイトシフト)の値を示す。Li_{4,4}M 合金にお

いても、化学シフト値が大きい、すなわち Li の金属性が高いほど低温で窒素解離が進行する傾向が見られた。また、イオニックな Li(Li⁺)を有する LiH の窒素解離温度が最も高く、上記の傾向と矛盾しない。以上の結果は、Li 化合物の窒素解離能発現において、Li の化学状態が重要な制御因子であることを示している[1]。

Li_{4.4}M 合金単相を、0.1 MPa の窒素、水素、アルゴン気流中で熱処理し、NH₃ 合成特性を評価した。その結果、いずれの合金を使った場合も常圧、400 °C 以下の条件で NH₃ が合成可能であることが分かった。14 族元素の種類によって差異はあるものの、この Li 合金を用いた NH₃ 合成は、概ね以下に示す 3 段階の反応で進行する。



反応過程における原子ダイナミクスを明らかにするため、窒化、NH₃ 合成、再生反応後のバルク体 Li-Sn 合金を FIB(focused ion beam)加工し、電子顕微鏡(SEM)を用いて断面観察した。窒化後の試料については先行研究で分析を行っており、合金内部の Li が表面に外方拡散しナノサイズの Li₃N を形成することが示唆されている。図 2 に NH₃ 合成サイクル後 Li-Sn 合金の断面 SEM 像を示す。表面層のコントラストが暗い領域には、保有電子数の少ない未反応の LiH や Li₃N が存在していると考えられる。一方、合金相と同様なコントラストの明るい領域が表面層に生成していることがわかる。これは、窒化後には観測されていない状態であり、NH₃ 生成に伴う N 原子の脱離に伴い合金相側の Sn が表面層に拡散したものと考えられる。さらに、表面層に空隙が生成されているのがわかる。これは、再生反応過程で水素が放出され Li が合金相に再拡散したことに起因すると推測される。以上は、これまでに XRD 等の結果を基に提案していた反応モデルが正しいことを裏付ける重要な結果であると言える。

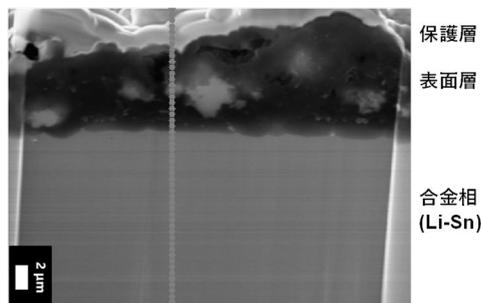


図 2 NH₃ 合成サイクル後 Li-Sn 合金の断面 SEM 像

Li-Sn 二元合金について、Sn 原子周りの局所構造が相安定性に与える影響に着目し、第一原理計算による研究を進めた。得られた最安定構造(原子配置)を基に、合金表面における窒素分子の解離機構とリチウム原子が脱離し Li₃N が生成される原子ダイナミクスを分子動力学で計算する手法の構築を進めた。面心立方構造を有する Li₂₂Sn₅ 合金の(111)面のスラブモデルを構築し、分子動力学計算を実施する際に必要な原子相の膜圧と真空層の厚さに関する最適条件の探索を第一原理計算手法により実施した。

これまでに行った Li-14 族二元系合金の実験結果を基に、2 種類の 14 族元素を用いた Li 三元合金を作製し、アンモニア合成特性の制御を試みた。その結果、三元系合金にすることで、アンモニア合成における繰り返し特性等が向上することがわかった。また、三元系 Li 合金: Li₁₇Si_xSn_{4-x} 合金(x = 0-4.0)を合成し、特性の組成依存性を調査したところ、Si 比率 0.5-1.5 の組成において窒化特性が向上する傾向が見出された。第一原理計算を用いて種々の Si/Sn 比における生成エンタルピーを計算し、凸包線(Convex hull)から安定な混合比を求める計算を実施した。また、Li 拡散を促進することが期待される物質を添加することで窒化反応特性を制御することを検討した。

イオニックな Li を有する LiH は、図 1 に示したように窒素解離温度が金属や合金に比べ高いものの、窒素と水素を順に反応させる以下の二段階の発熱反応でアンモニア合成が可能である。

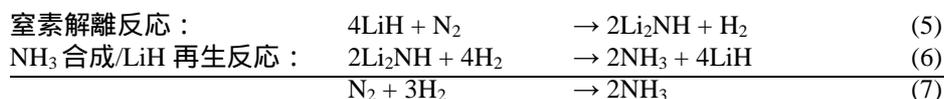


図 3(左)に示すように、窒素解離反応において、LiH は 0.1 MPa(大気圧)程度の窒素(N₂)ガスと反応し、約 400 °C から水素の放出を伴ってリチウムイミド(Li₂NH)を生成するが、反応率は 500 °C までの昇温に伴い約 60%、その後 500 °C まで加熱し約 20 時間保持しても約 80%程度に留まった。N₂ との反応後の試料を電子顕微鏡により観察したところ、図 3(中下)に示したように、生成物が融解、凝集していることがわかった。そこで、凝集を抑制することを目的とし、化学的に安定な物質(酸化リチウム Li₂O)を反応場として LiH に混合した。この LiH+Li₂O 混合体は、LiH 単相に比べわずかに低温から N₂ と反応し、反応速度が低下することなく約 20 分でほぼ 100%の反応率に達した。この際、生成物の明確な凝集は見られなかった。また、NH₃ 合成反応についても Li₂O の混合による反応速度の向上効果が見られた。従って、本系の動力学特性においては、生成物の凝集が支配的であると言える。以上の結果から、反応の凝集を抑制することで、常圧、400 °C 以下の条件下で高効率に NH₃ 合成が可能であることが明らかになった[2]。

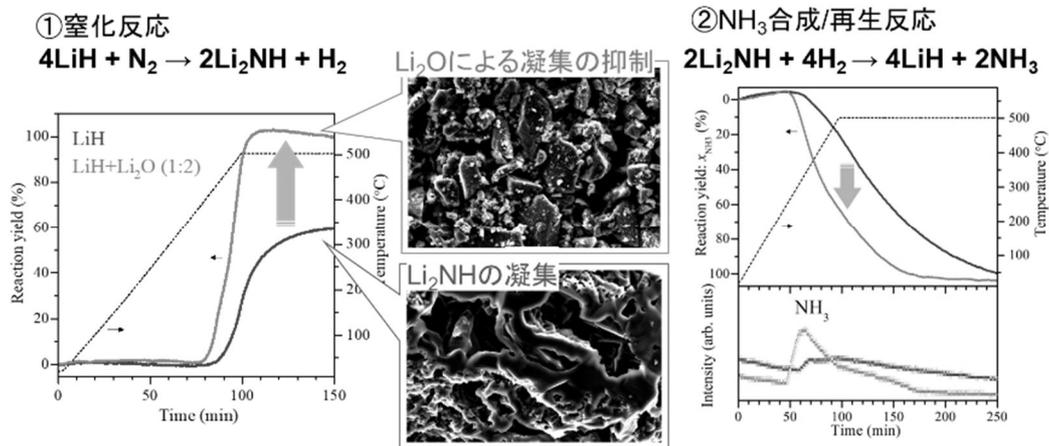


図3 Na合金のNH₃合成特性における温度依存性

Liと同族であるNaも窒素解離能を有することが期待されるため、Na-14族元素合金を作製し、アンモニア合成特性と物性の関連性を系統的に調査した。ここで、NaはLiのような安定窒化物を形成しないため、ガスを切り換えるケミカルルーピングではなく、水素-窒素混合ガスを用いた触媒特性評価を行った。図4に示すように、いずれのNa合金においても大気圧条件下でNH₃合成が可能であることがわかった。また、NMR及びTDSを用いて評価したNaの化学状態及び熱力学的安定性とNH₃合成特性の相関性を調査した。Li合金及び水素化物では、物質中のLiの化学状態と窒素解離温度の間に相関性が見出されているが、Na合金の場合は、Naの化学状態ではなく合金相の熱力学的安定性、すなわち不安定なNa合金ほど低温で窒素解離反応が進行することが分かった。一方で、アンモニア合成に対する触媒能については、Naの化学状態と相関性が見られた[3]。

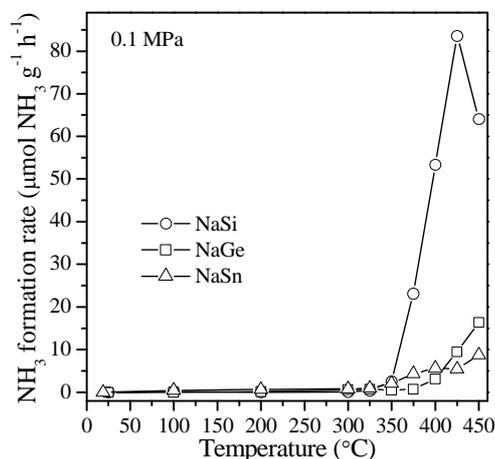


図4 Na合金のNH₃合成特性における温度依存性

上述したLiHを用いたNH₃合成プロセスを基に、NaHを用いた窒素解離及びアンモニア合成特性の調査を行った。その結果、LiHとは異なるNa窒素固溶体を介したケミカルルーピングによりアンモニアが合成可能であることが見出された。本系については、今後、反応メカニズムや制御技術について研究を進める予定である。

<引用文献>

[1] K. Shinzato *et al.*, Systematic Study on Nitrogen Dissociation and Ammonia Synthesis by Lithium and Group 14 Element Alloys, *ACS Appl. Energy Mater.*, 5, 4765–4773, 2022
 [2] K. Tagawa *et al.*, Improvement of Kinetics of Ammonia Synthesis at Ambient Pressure by the Chemical Looping Process of Lithium Hydride, *J. Phys. Chem. C.*, 126, 2403–2409, 2022
 [3] K. Tsunematsu *et al.*, Catalysis of Sodium Alloys for Ammonia Synthesis around Atmospheric Pressure, *ACS Appl. Energy Mater.*, 12, 52, 2022

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Koki Tsunematsu, Keita Shinzato, Hiroyuki Gi, Kentaro Tagawa, Masakuni Yamaguchi, Hitoshi Saima, Hiroki Miyaoka, Takayuki Ichikawa	4. 巻 12
2. 論文標題 Catalysis of Sodium Alloys for Ammonia Synthesis around Atmospheric Pressure	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Appl Energy Mater	6. 最初と最後の頁 52
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsaem.2c02910	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 Keita Shinzato, Kentaro Tagawa, Koki Tsunematsu, Hiroyuki Gi, Pankaj Kumar Singh, Takayuki Ichikawa, Hiroki Miyaoka	4. 巻 5
2. 論文標題 Systematic Study on Nitrogen Dissociation and Ammonia Synthesis by Lithium and Group 14 Element Alloys	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Appl Energy Mater	6. 最初と最後の頁 4765
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsaem.2c00213	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 Tagawa Kentaro, Gi Hiroyuki, Shinzato Keita, Miyaoka Hiroki, Ichikawa Takayuki	4. 巻 126
2. 論文標題 Improvement of Kinetics of Ammonia Synthesis at Ambient Pressure by the Chemical Looping Process of Lithium Hydride	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 2403 ~ 2409
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.jpcc.1c09902	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 -

〔学会発表〕 計29件（うち招待講演 0件／うち国際学会 8件）

1. 発表者名 齊藤玲, 磯部繁人, 橋本直幸, 岡弘, 新里恵多, 田川賢太郎, 宮岡裕樹, 市川貴之
2. 発表標題 アンモニア合成サイクルにおけるLi ₁₇ Si ₆ Sn _{4-x} 合金の窒化特性評価
3. 学会等名 2022年度日本鉄鋼協会・日本金属学会両北海道支部合同冬季講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮岡裕樹, 恒松紘喜, 新里恵多, 魏弘之, 斉間等, 市川貴之
2. 発表標題 アルカリ元素を用いた窒素解離とアンモニア合成
3. 学会等名 水素化物に関わる次世代学術・応用展開研究会 第8回研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮岡裕樹, 新里恵多, 魏弘之, 斉間等, 市川貴之
2. 発表標題 リチウム化合物を用いたケミカルルーピングプロセスによるアンモニア合成
3. 学会等名 第42回水素エネルギー協会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 恒松紘喜, 新里恵多, 魏弘之, 宮岡裕樹, 斉間等, 市川貴之
2. 発表標題 Na-14 族合金及びNaH を用いた小型分散型低圧NH ₃ 合成に関する研究
3. 学会等名 日本エネルギー学会西部支部 第6回学生・若手研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroki Miyaoka, Keita Shinzato, Hiroyuki Gi, Hitoshi Saima, Takayuki Ichikawa
2. 発表標題 Ammonia Synthesis via Chemical Looping of Li-compounds
3. 学会等名 17th International symposium on metal-hydrogen systems (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮岡裕樹, 新里恵多, 田川賢太郎, 魏弘之, 市川貴之
2. 発表標題 リチウム化合物の窒素解離能とアンモニア合成特性
3. 学会等名 日本金属学会2022年秋期(第171回)講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齊藤玲, 磯部繁人, 橋本直幸, 岡弘, 新里恵多, 田川賢太郎, 宮岡裕樹, 市川貴之
2. 発表標題 Li ₁₇ Si ₆ Sn ₄ -x合金を用いたアンモニア合成特性評価
3. 学会等名 日本金属学会2022年秋期(第171回)講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Koki Tsunematsu, Keita Shinzato, Hiroyuki Gi, Hiroki Miyaoaka, Takayuki Ichikawa
2. 発表標題 Catalytic Properties of NaSi and other Na Alloys for Continuous Ammonia Synthesis in Flow Type Reactor
3. 学会等名 International Symposium on Fuel and Energy 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 恒松紘喜, 田川賢太郎, 魏弘之, 新里恵多, 宮岡裕樹, 齊間等, 市川貴之
2. 発表標題 Na-14 族元素合金による常圧NH ₃ 合成
3. 学会等名 日本金属学会2022年春期(第170回)講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齊藤 玲, 磯部 繁人, 橋本 直幸, 岡 弘, 宮岡 裕樹, 市川 貴之, 新里 恵多, 田川 賢太郎
2. 発表標題 新規多元系Li合金を用いたアンモニア合成
3. 学会等名 日本金属学会2022年春季(第170回)講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 恒松紘喜, 田川賢太郎, 新里恵多, 魏弘之, 市川貴之, 宮岡裕樹
2. 発表標題 ナトリウム系合金を用いた常圧アンモニア合成
3. 学会等名 第41回水素エネルギー協会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田川賢太郎, 新里恵多, 魏弘之, 宮岡裕樹, 市川貴之
2. 発表標題 LiHを用いたアンモニア合成プロセスにおけるLi2O混合効果
3. 学会等名 第7回水素化物に関わる次世代学術・応用展開研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koki Tsunematsu, Kentaro Tagawa, Keita Shinzato, Hiroyuki Gi, Takayuki Ichikawa, Hiroki Miyaoka
2. 発表標題 Ammonia Production with Na-14 Element Alloys under Moderate Pressure
3. 学会等名 2021JCREN (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田川賢太郎, 新里恵多, 魏弘之, 宮岡裕樹, 市川貴之
2. 発表標題 Li-14族元素(Si, Ge, Sn, Pb)合金を用いたアンモニア合成の特性評価
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋期(第169回)講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 磯部繁人, 上澤将大, 岡弘, 橋本直幸, 新里恵多, 宮岡裕樹
2. 発表標題 Li合金を用いたアンモニア合成における組織変化の観察と反応機構解明
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋期(第169回)講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田川賢太郎, 新里恵多, 魏弘之, 宮岡裕樹, 市川貴之
2. 発表標題 Li-14族元素合金を用いたアンモニア合成における特性評価
3. 学会等名 第15回水素若手研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 恒松紘喜
2. 発表標題 Na-M(Si, Ge, Sn)合金を用いた常圧 NH ₃ 合成
3. 学会等名 第15回水素若手研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齊藤 玲, 磯部 繁人, 橋本 直幸, 岡 弘, 宮岡 裕樹, 市川 貴之, 新里 恵多, 田川 賢太郎
2. 発表標題 新規多元系Li合金を用いたアンモニア合成
3. 学会等名 第15回水素若手研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koki Tsunematsu, Kentaro Tagawa, Keita Shinzato, Hiroyuki Gi, Hiroki Miyaoka, Takayuki Ichikawa
2. 発表標題 Ammonia Production by Using Na-14 Element Alloys under Atmospheric Pressure
3. 学会等名 ICCMDP-2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田川賢太郎, 新里恵多, 魏弘之, 宮岡裕樹, 市川貴之
2. 発表標題 Li-14族元素(Si, Ge, Sn)合金を用いたアンモニア合成
3. 学会等名 第30回日本エネルギー学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 恒松紘喜, 田川賢太郎, 新里恵多, 魏弘之, 市川貴之, 宮岡裕樹
2. 発表標題 NH3合成における Na-M(Si, Ge, Sn)合金の触媒特性
3. 学会等名 日本鉄橋協会・日本金属学会中四国支部講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kentaro Tagawa, Keita Shinzato, Hiroyuki Gi, Takayuki Ichikawa, Hiroki Miyaoka
2. 発表標題 Systematic Study on Ammonia Synthesis by Li-14 elements (Si,Ge,Sn,Pb) alloys
3. 学会等名 ISFE2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koki Tsunematsu, Kentaro Tagawa, Keita Shinzato, Hiroyuki Gi, Hiroki Miyaoka, Takayuki Ichikawa
2. 発表標題 Ammonia Synthesis with Sodium Alloys at Ambient Pressure
3. 学会等名 ISFE2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮岡裕樹, 新里恵多, 上澤将大, 中川祐貴, 王永明, 磯部繁人, 市川貴之
2. 発表標題 リチウム合金を用いた低圧アンモニア合成プロセス
3. 学会等名 2021年春期(第168回)講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上澤将大, 磯部繁人, 橋本直幸, 岡弘, 宮岡裕樹
2. 発表標題 Li合金を用いたアンモニア合成における組織変化の観察
3. 学会等名 2020年度日本鉄鋼協会・日本金属学会両支部合同冬季講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名	Kentaro Tagawa, Keita Shinzato, Hiroyuki Gi, Hiroki Miyaoka, Takayuki Ichikawa
2. 発表標題	Chemical state analysis of Li among Li-M (Si,Ge,Sn,Pb) alloys by using solid NMR
3. 学会等名	THE 4TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FUELS AND ENERGY (ISFE2020) (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Koki Tsunemastu, Kentaro Tagawa, Keita Shinzato, Hiroyuki Gi, Hiroki Miyaoka, Takayuki Ichikawa
2. 発表標題	Synthesis and characterization of Na-M(Si, Ge, Sn, Pb) alloys as NH ₃ synthesis catalyst
3. 学会等名	THE 4TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FUELS AND ENERGY (ISFE2020) (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	田川賢太郎, 新里恵多, 魏弘之, 宮岡裕樹, 市川貴之
2. 発表標題	固体 NMR を用いた Li-M(Si, Ge, Sn, Pb)合金中 Li の化学状態分析
3. 学会等名	2020年度金属学会中四国支部大会
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	宮岡裕樹, 新里恵多, 山本恭平, 上澤将大, 中川祐貴, 王永明, 磯部繁人, 市川貴之
2. 発表標題	リチウム合金による窒素解離と擬触媒的アンモニア合成
3. 学会等名	第29回日本エネルギー学会大会(新エネルギー・水素部会 研究発表会)
4. 発表年	2020年

〔図書〕 計5件

1. 著者名 宮岡裕樹, 市川貴之	4. 発行年 2023年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 -
3. 書名 アンモニアの合成・製造と燃焼技術	

1. 著者名 宮岡裕樹	4. 発行年 2023年
2. 出版社 月間ファインケミカル	5. 総ページ数 -
3. 書名 脱炭素に向けて加速するアンモニアの社会実装	

1. 著者名 宮岡裕樹	4. 発行年 2021年
2. 出版社 日本エネルギー学会	5. 総ページ数 125
3. 書名 えねるみくす	

1. 著者名 宮岡裕樹, 新里恵多	4. 発行年 2021年
2. 出版社 エネルギー・資源学会	5. 総ページ数 65
3. 書名 エネルギー・資源学会誌 特集「アンモニア合成の新展開」	

1. 著者名 宮岡裕樹	4. 発行年 2020年
2. 出版社 化学同人	5. 総ページ数 78
3. 書名 化学	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 アンモニアの合成方法	発明者 宮岡裕樹, 市川貴之, 齊間等	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-137414	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

宮岡裕樹, アンモニア合成技術の開発と常温・常圧化, 水素化リチウムを利用した常圧でのアンモニア合成法, -アルカリ元素の機能性を利用した常圧アンモニア合成, 技術情報協会セミナー-, 2023年1月18日

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
研究分担者	圓谷 貴夫 (Tsumuraya Takao) (00619869)	熊本大学・大学院先導機構・助教 (17401)	
研究分担者	磯部 繁人 (Isobe Shigehito) (10564370)	北海道大学・工学研究院・准教授 (10101)	

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	市川 貴之 (Ichikawa Takayuki) (10346463)	広島大学・先進理工系科学研究科・教授 (15401)	

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