

令和 4 年 5 月 20 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02452

研究課題名（和文）ホイスラー合金の触媒機能のメカニズム解明

研究課題名（英文）Unveiling catalytic mechanism of Heusler alloys

研究代表者

小嶋 隆幸 (Kojima, Takayuki)

信州大学・学術研究院繊維学系・助教

研究者番号：10732183

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,900,000 円

研究成果の概要（和文）：金属間化合物という特殊な合金は、特有の電子状態と表面規則構造に起因した新奇な触媒機能を示す。代表者は三元系の金属間化合物群であるホイスラー合金(X<sub>2</sub>YZ)を触媒に応用し、アルキン選択水素化に対して優れた特性を示すCo<sub>2</sub>FeGeなどの新規触媒を見出した。本研究課題では、Co<sub>2</sub>FeGeを中心とするホイスラー合金の触媒メカニズムの解明を目指した。粉末、微粉末、ナノ粒子、単結晶薄膜という様々なタイプの試料を、アルキン選択水素化に加え、メタノールの水蒸気改質、2-プロパノールの脱水素にも適用し、触媒機能を多角的に評価した。その結果、触媒メカニズムを深く解明することができ、耐久性に関する知見も得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

金属間化合物触媒は特に近年注目を集めているトピックであり、触媒としての開拓もメカニズムの解明も未だ部分的なものに留まっている。特に、数あるホイスラー合金の中には優れた触媒が沢山眠っていると思われるが、三元系という複雑さのためかこれまで全く研究されていなかった。このような中、研究代表者らが優れた新規触媒を発見し、本研究課題においてそのメカニズム解明を進めたことにより、今後ホイスラー合金触媒の研究が活発化し、工業的に重要な様々な新規触媒の発見につながると期待される。

研究成果の概要（英文）：Intermetallic compounds, special type of alloys, exhibit novel catalytic properties originated from unique electronic structures and atomic ordered surfaces. The PI previously discovered novel catalysts in Heusler alloys (X<sub>2</sub>YZ) including Co<sub>2</sub>FeGe Heusler alloys for selective hydrogenation of alkynes. In this project, we aimed to unveil catalytic mechanisms in Heusler alloys including Co<sub>2</sub>FeGe. A variety of samples in forms of micron powders, fine powders, nanoparticles, and epitaxial single crystal thin films was investigated for several reactions including selective hydrogenation of alkynes, steam reforming of methanol, and dehydrogenation of 2-propanol. This investigation from various aspects unveiled the mechanisms and additionally revealed a durability.

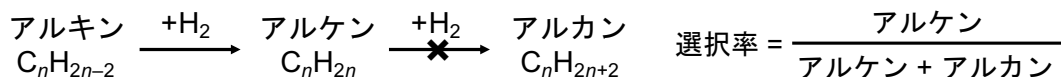
研究分野：触媒、磁性材料

キーワード：ホイスラー合金 金属間化合物触媒

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

金属間化合物は、異なる金属原子が規則的に配列し、構成元素の純金属とは全く異なる結晶構造および電子状態を有する。その表面構造および特有の電子状態に起因し、純金属や固溶体合金では得られないユニークな触媒機能を示すことから近年注目を集めている[1]。ホイスラー合金は  $X_2YZ$  で表され  $L2_1$  構造を有する三元系の金属間化合物群であり、磁性材料などの様々な分野で精力的に研究されている(図 1)。触媒機能については全く研究されていなかったが、多くの元素の組み合わせが存在するため(図 1 下)、この中に優れた新規触媒が眠っている可能性が高いと研究代表者は考え、アルキン選択水素化(下式)に対し極めて高い選択性を有する  $Co_2MnGe$  および  $Co_2FeGe$  ホイスラー合金触媒を見出した[2]。



また、構成可能元素の豊富さに起因して第四元素置換の自由度(元素種・組成域)が高く、それによる電子状態制御が他分野では常套手段となっているため、触媒機能制御も可能と考えた(図 1 上右)。実際に第四元素置換( $Co_2Mn_xFe_{1-x}Ga_yGe_{1-y}$ )を行ったところ、Mn-Fe 置換では電子状態変化による効果が得られ(図 1 上右)、Ga-Ge 置換では表面元素が置き換わることで自身が吸着状態に変化を与える(図 1 上中)ことが示唆された。しかしながら、考察の多くは推測に留まっており、触媒メカニズムについてさらに詳しく研究する必要があった。

[1] S. Furukawa *et al.*, *J. Mater. Chem. A* **8** (2020) 15620.

[2] T. Kojima *et al.*, *Sci. Adv.* **4** (2018) eaat6063.

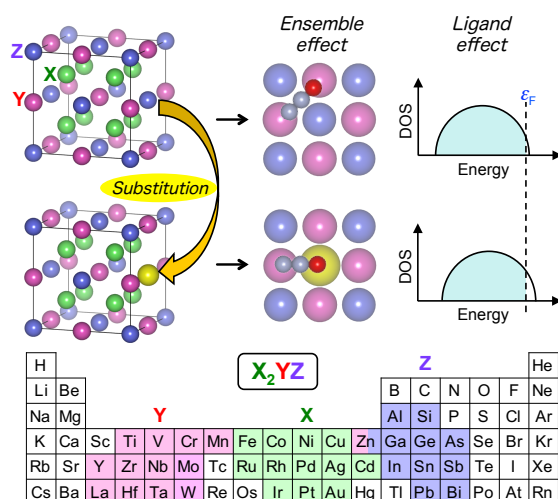


図 1. ホイスラー合金の構造、典型的な構成元素、第四元素置換効果の模式図。  
(Ref. 2 より; CC BY-NC ライセンス <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>)

2. 研究の目的

解明すべき点は①優れた触媒機能(アルケン選択性)の起源、②第四元素置換効果のメカニズム、③耐久性である。①については、Ge を Ga で置き換えると選択性が大幅に低下する一方で反応速度が大幅に増大したことから、Ge は分子吸着能が低くアルケンの吸着を制限し選択性を高める一方で Ga は分子吸着能が高くアルケンの吸着と表面反応も促進してアルカンを生成してしまう(選択性の低下)と考えた。第一原理計算により、Ga の方が Ge より 4p バンドの平均エネルギーが高いことがわかり、一般に価電子帯の平均エネルギーが高い方が分子吸着力が高いことから、前述の仮説が支持された。しかし、それだけでは仮説の信頼性として不十分であり、仮説をより強固なものとするための実験を本研究で行う。②について、①の解明がすなわち Ga-Ge 置換効果の解明となる。Mn-Fe 置換においては、Mn 量の増加に伴い見かけの活性化エネルギーは単調に減少した一方、反応速度は単調に増加せず  $Co_2MnGe$  も  $Co_2FeGe$  も同レベルの反応速度という奇妙な結果となっていた。これは一言で言えば、アレニウスの式における活性化エネルギーに含まれるエンタルピー変化が減少する一方で、頻度因子に含まれるエントロピー変化も減少して打ち消し合う補償効果によるものではないかと推測した。しかし、試料の状態が悪いまたはホイスラー合金特有の性質という可能性もあるため、本研究でこの原因を調べる。③について、産業で実用するためには耐久性も重要となり、触媒メカニズムにも依存する要素であるため、本研究では耐久性についても調べる。

### 3. 研究の方法

触媒反応は複雑であるため様々な観点から多角的に研究することが望ましい。そこで本研究では、試料としては乳鉢・乳棒により粉碎した粉末、ボールミルにより粉碎した微粉末、酸化物に担持したナノ粒子、エピタキシャル成長させた単結晶薄膜を用いて研究を行った。反応としては、アルキン選択水素化だけでなく、メタノールの水蒸気改質および 2-プロパノールの脱水素反応についても研究した。CO の昇温脱離試験や重水素を用いた反応試験を行い、吸着や反応機構についての知見を得た。WIEN2k を用いた第一原理計算により電子状態を評価し、触媒特性と関連付けて考察した。

アーク溶解により合金インゴットを作製し、アルミナ乳鉢・乳棒により粉碎、ふるいを用いて 20–63  $\mu\text{m}$  に整粒したものを粉末触媒試料とした。X 線回折(XRD)により(ほぼ)単相のホイスラー合金が得られたことを確認した。微粉末試料は、遊星ボールミルを用い、容積 12 mL のジルコニア容器に直径 5 mm のジルコニアボールを 50 個充填し、エタノールを溶媒として 20–63  $\mu\text{m}$  の  $\text{Co}_2\text{FeGe}$  粉末を 300–500 rpm の回転数で粉碎して得た。担持ナノ粒子は、金属塩水溶液をポーラスシリカゲルの細孔をちょうど満たす量含浸させ、焼成、水素還元熱処理するという共同研究者(非分担者)の手法により合成された。単結晶薄膜は、マグネトロンスパッタ法により  $\text{MgO}(100)$  基板に(100)薄膜を、 $\text{Al}_2\text{O}_3(11-20)$  基板に(110)薄膜をエピタキシャル成長させた。

触媒反応は主に流通系で実施し、アルキンにはプロピン( $\text{C}_3\text{H}_4$ )を用い、[0.1% $\text{C}_3\text{H}_4$  / 40% $\text{H}_2$  / 59.9% $\text{He}$ ]混合ガスを用いて反応特性を評価した。メタノール水蒸気改質は、30  $\text{mL min}^{-1}$  の  $\text{N}_2$  キャリアガスを流通しながら  $\text{CH}_3\text{OH}:\text{H}_2\text{O}=2:3$  の混合液を 0.1  $\text{mL min}^{-1}$  で導入し、電気炉により気化して反応させた。2-プロパノール脱水素は、30  $\text{mL min}^{-1}$  の  $\text{He}$  キャリアガスを流通しながら 2-プロパノール原料液を 0.1  $\text{mL min}^{-1}$  で導入し、電気炉により気化して反応させた。いずれの反応でも、水素流通下 600  $^\circ\text{C} \cdot 1 \text{h}$  の熱処理により表面酸化物を除去してから反応を開始した。分析にはガスクロマトグラフィーを用いた。CO の昇温脱離試験は、 $<20 \mu\text{m}$  の粉末に CO を飽和吸着させた後に  $\text{He}$  流通下で 10  $^\circ\text{C min}^{-1}$  で昇温し、質量分析計を用いて脱離プロファイルを取得した。重水素( $\text{D}_2$ )を用いた反応試験はアセチレン( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) / エチレン ( $\text{C}_2\text{H}_4$ )系において  $\text{D}_2$  と反応させ、触媒層通過後のガスを質量分析計により分析し、D を含む生成物を調べた。

### 4. 研究成果

様々な非貴金属元素から成るホイスラー合金粉末を触媒に用いたメタノール水蒸気改質反応では、全ての試料が不可逆的に酸化されてしまい、水を含む反応雰囲気中では安定でないことがわかった。しかし、試験した 14 種類の中で、 $\text{Co}_2\text{FeGe}$  と  $\text{Co}_2\text{FeGa}$  は比較的活性が高く、アルキン水素化に限らず様々な種類の反応に対し触媒として機能することが示唆された。2-プロパノール脱水素反応( $\text{C}_3\text{H}_8\text{O} \rightarrow \text{C}_3\text{H}_6\text{O} + \text{H}_2$ )に対しても、 $\text{Co}_2(\text{Mn or Fe})(\text{Ga or Ge})$ 粉末のうち  $\text{Co}_2\text{FeGe}$  以外は酸化されてしまった。微量の  $\text{O}_2$  および  $\text{H}_2\text{O}$  不純物、 $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$  中の O といった温和な酸化種に対しても Mn や Ga を含む場合は不安定なことが明らかとなった。純 Co と純 Fe は反応特性が時間とともに変化し酸化が示唆されたが、 $\text{Co}_2\text{FeGe}$  は安定であり、金属間化合物形成により耐久性が獲得されることがわかった。また、 $\text{Co}_2\text{FeGe}$  は純 Co、Fe および Ge に比べて高活性であり、金属間化合物形成により生まれ変わった電子状態が 2-プロパノール脱水素に適していることが示唆された。反応開始直後の未酸化状態の初期活性を比較したところ、Ge 系より Ga 系が高活性を示した(図 2 左)。Ga 系では脱水( $\text{C}_3\text{H}_8\text{O} \rightarrow \text{C}_3\text{H}_6 + \text{H}_2\text{O}$ )も生じており、アルキン選択水素化において提唱した仮説「Ge は吸着力が弱く Ga は強い」が支持される結果となった。CO の昇温脱離試験でも、Ga 系と Ge 系で全く異なるプロファイルが得られ、Ga 系の方が高温で CO が脱離する、すなわち Ga 系の方が吸着力が強いということが確かめられた(図 2 右)。Fe を Mn で置き換えていくと価電子が減少し d バンドの平均エネルギーである d バンド中心( $\epsilon_d$ )が増大するが、2-プロパノール脱水素に対する活性は  $\epsilon_d$  増大に伴って低下した。この  $\epsilon_d$  の領域において右肩下がりの傾向は純金属触媒と一致する[3]。Mn-Fe 置換において妥当な結果が得られたことは、アルキン水素化における Mn-Fe 置換の奇妙な結果は、試料の状態やホイスラー合金特有の性質によるものではなく、アルキン水素化の反応機構に由来するものであることを示唆している。

[3] M. Tamura *et al.*, *ACS Catal.* **2** (2012) 1904.

ボールミリングにより得た  $\text{Co}_2\text{FeGe}$  微粉末のプロピン選択水素化においては、ボールミル回転数が小さいまたは短時間の場合には高い選択性を保ったまま反応速度が向上した。一方、回転数が大きいまたは長時間ミリングした場合は選択性が低下した。しかし、反応前に水素流通下 600  $^\circ\text{C} \cdot 1 \text{h}$  の前処理を行っており、XRD では選択性が高い試料も低い試料も十分に規則化した単相となっていた。バルク部分に問題は無いが、ミリングによるダメージや微粉化により生じた表面サイトが選択性を低下させたものと思われる。CO の昇温脱離試験を行ったところ、低選択性試料では 20–63  $\mu\text{m}$  の  $\text{Co}_2\text{FeGe}$  粉末には無い脱離ピークが観測されており、低選択性サイトの存在が示唆された(図 3)。担持ナノ粒子においても  $\text{Co}:\text{Fe}:\text{Ge} = 2:1:1$  で仕込んだ試料では選択性が低く同様の脱離ピークが観測されたが、Co 量を減らして  $\text{Co}:\text{Fe}:\text{Ge} = 1.8:1:1$  で仕込んだ試料では選択性が高く同様の脱離ピークは観測されなかった。したがって、粒が小さくなるほど、XRD

では検出できないレベルで Co 原子が集まったサイトが形成するのかもしれない。Co:Fe:Ge = 1.8:1:1 の担持ナノ粒子では、高規則度で平均粒径 23 nm の試料が得られており、選択性は高い水準を維持したまま重量当たりの反応速度を 2,000 倍に向上できた。一方、半球状粒子を仮定して表面積当たりの反応速度を大雑把に算出したところ、20–63  $\mu\text{m}$  の粉末とあまり変わらず、少なくとも直径 23 nm 程度まで微小化してもバルクと同様の反応メカニズムであると考えられた。つまり、ホイスラー合金のアルキン選択水素化特性は試料の形態に依存しない普遍的なものであると考えられる。

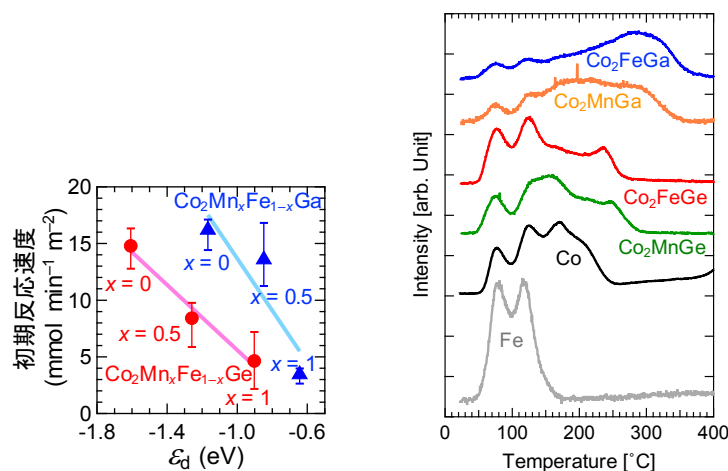


図 2. 2-プロパノール脱水素反応における初期反応速度と  $\epsilon_d$  の関係(左)および CO 昇温脱離プロファイル(右)。

(Kojima *et al.*, *Catal. Sci. Technol.* **11** (2021) 4741 より Royal Society of Chemistry の許可の下掲載)

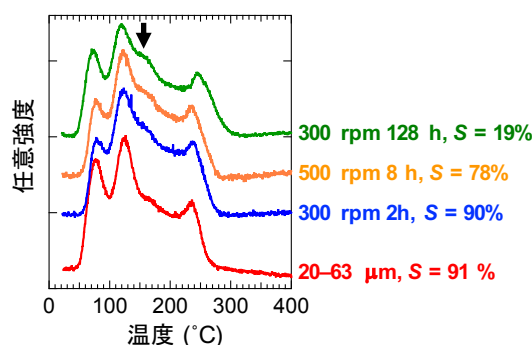


図 3. ボールミル前後の Co<sub>2</sub>FeGe の CO 昇温脱離プロファイル。凡例はボールミル条件と 25–250 °C の間で観測されたプロピレン(C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>)選択率(S)の最低値を示す。矢印が低選択性試料にのみ観測されるピーク。

単結晶薄膜においても、Co<sub>2</sub>FeGa の方が Co<sub>2</sub>FeGe より高活性だった(図 4)。元素置換した場合、例えば Co<sub>2</sub>FeGa<sub>0.5</sub>Ge<sub>0.5</sub> では粉末と同様に Co<sub>2</sub>FeGa と Co<sub>2</sub>FeGe の中間的な活性を示した。面方位については、(110)面の方が(100)面より高活性だった。一般に、疎で配位数が小さい原子の方が不安定で活性が高いが、最密面の(110)が高活性という結果となった。(100)面では最表面が Co だけで構成される場合と Fe と Ge で構成される場合がある。水素化触媒としては Co 終端面の方が FeGe 終端面より活性と思われるが、第一原理計算によると FeGe 終端面の方がエネルギー的に安定なことが示唆されているため、(100)薄膜では主に FeGe 層が表面に露出して活性が低かったと考えられる。(110)面はどの層も Co<sub>2</sub>FeGe 層となっており、エネルギー的に最安定であり、粉末触媒の表面は主に(110)面で構成されていると思われる。(111)は低指数面の中で最も不安定であり、また、Co 終端および Fe 終端より Ge 終端の方が安定なため、(111)面が露出しても不活性な Ge が終端となり触媒活性を示さないと考えられる。したがって、粉末などの多結晶試料では、触媒反応は主に(110)面上で進行することが示唆された。最安定面が触媒活性を支配しているために、粉末でもナノ粒子でも本質的な触媒機能が変わらないものと考えられる。

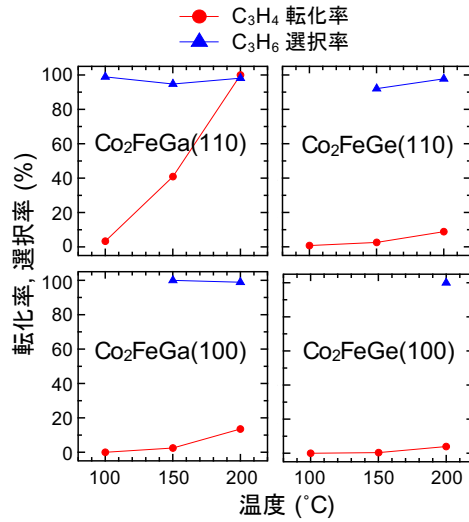


図 4.  $\text{Co}_2\text{FeGa}$  および  $\text{Co}_2\text{FeGe}$  の(110)および(100)エピタキシャル薄膜のプロピン水素化特性。

粉末触媒について  $\text{D}_2$  を  $\text{C}_2\text{H}_2$  および  $\text{C}_2\text{H}_4$  と反応させたところ、 $\text{Co}_2\text{FeGe}$  において HD が生成していた。 $\text{C}_2\text{H}_4$  と  $\text{D}_2$  の反応では質量分析計により  $m/z=32$  の生成が観測されており、 $\text{C}_2\text{H}_4$  と  $\text{H}_2$  の反応では殆ど  $\text{C}_2\text{H}_6$  を生成しないことから  $m/z=32$  は  $\text{C}_2\text{D}_4$  と考えられる(図 5)。 $\text{C}_2\text{H}_4$  が表面に吸着し、H が D と交換することで HD や  $\text{C}_2\text{H}_3\text{D}$ 、 $\text{C}_2\text{H}_2\text{D}_2$  などが生成し、一旦脱離した  $\text{C}_2(\text{H},\text{D})_4$  の再吸着と H-D 交換を繰り返すことで  $\text{C}_2\text{D}_4$  まで生成したことになる。したがって、 $\text{Co}_2\text{FeGe}$  ではアルケンが完全に吸着できないわけではなく、吸着するが水素付加の活性化エネルギーが高いためにアルカンが生成しないものと考えられる。ただし、CO の吸着脱離プロファイル(図 2 右)からわかるように、 $\text{Co}_2\text{FeGa}$  とは明らかに吸着状態が異なるので、 $\text{Co}_2\text{FeGa}$  では吸着力が強い Ga も吸着に寄与し、 $\text{Co}_2\text{FeGe}$  では不活性な Ge が吸着サイトを制限しているのは確かだと思われる。

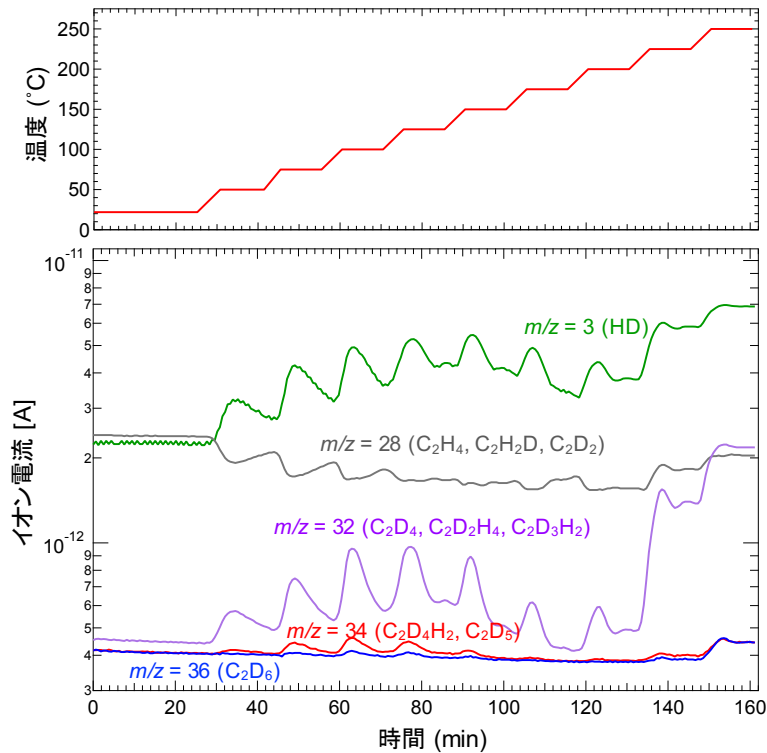


図 5.  $\text{Co}_2\text{FeGe}$  触媒による  $\text{C}_2\text{H}_4$  と  $\text{D}_2$  の反応試験における反応温度制御プロファイル(上)と質量分析計による生成ガス種の分析(下)。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kojima Takayuki, Nakaya Yuki, Ham Hyungwon, Kameoka Satoshi, Furukawa Shinya	4. 巻 11
2. 論文標題 Synthesis of Co <sub>2</sub> FeGe Heusler alloy nanoparticles and catalysis for selective hydrogenation of propyne	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 18074 ~ 18079
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1RA02884G	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Kojima Takayuki, Koganezaki Takuya, Fujii Shinpei, Kameoka Satoshi, Tsai An-Pang	4. 巻 11
2. 論文標題 Durability and activity of Co <sub>2</sub> YZ (Y = Mn or Fe, Z = Ga or Ge) Heusler alloy catalysts for dehydrogenation of 2-propanol	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Catalysis Science & Technology	6. 最初と最後の頁 4741 ~ 4748
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CY00279A	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 Tsukuda Ryota, Kojima Takayuki, Xu Ya, Nishimura Chikashi, Kraj?? Marian, Kameoka Satoshi	4. 巻 125
2. 論文標題 High Catalytic Activities of RENi <sub>5</sub> Al (RE = La, Er) and Low Activity of Mg <sub>2</sub> Ni Following Hydrogen Uptake: The Role of Absorbed Hydrogen	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 20919 ~ 20929
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c06484	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 Iwase Kazuyuki, Kojima Takayuki, Todoroki Naoto, Honma Itaru	4. 巻 58
2. 論文標題 Activity switching of Sn and In species in Heusler alloys for electrochemical CO <sub>2</sub> reduction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 4865 ~ 4868
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2CC00754A	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 小嶋隆幸	4. 巻 16
2. 論文標題 ホイスラー合金の触媒への応用	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 まぐね	6. 最初と最後の頁 224 ~ 232
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 無
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 小嶋隆幸	4. 巻 64
2. 論文標題 三元金属間化合物群「ホイスラー合金」の触媒機能	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 触媒	6. 最初と最後の頁 92 ~ 98
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 小嶋隆幸	4. 巻 91
2. 論文標題 ホイスラー合金の触媒としての性質	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 応用物理	6. 最初と最後の頁 (accepted)
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 Kojima Takayuki, Kameoka Satoshi, Tsai An-Pang	4. 巻 38
2. 論文標題 Screening of Ternary Intermetallic Catalysts Is Possible Using Metallurgical Synthesis: Demonstration on Heusler Alloys	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 KONA Powder and Particle Journal	6. 最初と最後の頁 110 ~ 121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14356/kona.2021008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kojima Takayuki	4. 巻 59
2. 論文標題 Catalytic Properties of Ternary Intermetallic Compounds “Heusler Alloys”	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materia Japan	6. 最初と最後の頁 354 ~ 360
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/materia.59.354	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 Kojima Takayuki, Kameoka Satoshi, Tsai An-Pang	4. 巻 4
2. 論文標題 Catalytic Properties of Heusler Alloys for Steam Reforming of Methanol	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 21666 ~ 21674
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.9b01837	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 小嶋隆幸、中谷勇希、Hyungwon Ham、亀岡聡、古川森也
2. 発表標題 アルキン選択水素化特性に優れるCo <sub>2</sub> FeGeホイスラー合金触媒の担持ナノ粒子合成と構造
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 小嶋隆幸、中谷勇希、Hyungwon Ham、亀岡聡、古川森也
2. 発表標題 Co <sub>2</sub> FeGeホイスラー合金の担持ナノ粒子合成とプロピン選択水素化特性
3. 学会等名 第128回触媒討論会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 小嶋隆幸
2. 発表標題 ホイスラー合金の触媒機能についての研究
3. 学会等名 日本金属学会・日本鉄鋼協会 北陸信越支部 長野地区令和3年度第2回材料技術講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takayuki Kojima
2. 発表標題 Catalytic properties of Heusler alloys
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2021（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takayuki Kojima, Shinpei Fujii, Emilie Gaudry, Satoshi Kameoka
2. 発表標題 Thin film catalysts of Co <sub>2</sub> FeGe and Co <sub>2</sub> FeGa Heusler alloys for selective hydrogenation of alkynes
3. 学会等名 TOCAT9（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takayuki Kojima
2. 発表標題 to be fixed
3. 学会等名 Intermetallic Compounds in Catalysis (IMCAT) 2022（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小嶋隆幸, 亀岡 聡
2. 発表標題 ボールミルにより粉碎したCo <sub>2</sub> FeGeホイスラー合金触媒のアルキン選択水素化特性
3. 学会等名 日本金属学会2020年秋期(第167回)講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小嶋隆幸
2. 発表標題 ホイスラー合金を主とした金属間化合物触媒の研究
3. 学会等名 第18回 東北大学 多元物質科学研究所 新機能無機物質探索研究センターシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小嶋隆幸, 黄金崎琢也, 亀岡 聡, 藤井伸平, 蔡安邦
2. 発表標題 ホイスラー合金Co <sub>2</sub> (Mn,Fe)(Ga,Ge)の2-プロパノール脱水素に対する触媒特性
3. 学会等名 第126回触媒討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takayuki Kojima, Takuya Koganezaki, Satoshi Kameoka, An-Pang Tsai
2. 発表標題 Heusler alloy catalysts for various reactions
3. 学会等名 EuropaCat 2019 (14th European Congress on Catalysis) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takayuki Kojima, Satoshi Kameoka, An-Pang Tsai
2. 発表標題 Current progress on Heusler alloy catalysts
3. 学会等名 International Symposium Intermetallic Compounds in Catalysis (IMCAT2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黄金崎琢也, 小嶋隆幸, 亀岡 聡, 蔡 安邦
2. 発表標題 2-プロパノールの脱水素反応およびメタネーション反応におけるホイスラー合金の触媒特性
3. 学会等名 日本金属学会秋期講演大会(第165回)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小嶋隆幸
2. 発表標題 スピントロニクス材料「ホイスラー合金」の触媒材料への応用
3. 学会等名 第636回高崎研オープンセミナー(リサーチ): スピントロニクスと触媒科学 - ホイスラー合金に関する最新の話題 - (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小嶋隆幸
2. 発表標題 ホイスラー合金の触媒特性
3. 学会等名 触媒材料の金属学研究会(No.78) 第4回ミニシンポジウム: 金属触媒材料研究の最前線: 金属・触媒・表面科学の融合を目指して(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小嶋隆幸, 亀岡 聡, 蔡 安邦
2. 発表標題 メタノール水蒸気改質雰囲気におけるホイスラー合金 (X <sub>2</sub> YZ: X = Fe, Co, Ni, Cu; Y = Ti, Mn, Fe; Z = Al, Si, Ga, Ge, Sn)の構造変化および触媒特性
3. 学会等名 日本金属学会春期講演大会(第166回)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小嶋隆幸, 亀岡 聡, 蔡 安邦
2. 発表標題 三元金属間化合物ホイスラー合金のメタノール水蒸気改質特性
3. 学会等名 第125回触媒討論会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

信州大学 小嶋研究室 <a href="https://takayukikojimaresearch.web.fc2.com">https://takayukikojimaresearch.web.fc2.com</a>
---

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	亀岡 聡  (Kameoka Satoshi)  (60312823)	東北大学・多元物質科学研究所・教授   (11301)	

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 分 担 者	藤井 伸平  (Fujii Shinpei)  (90189994)	鹿児島大学・理工学域理学系・教授    (17701)	

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			
フランス	Univ. Lorraine, CNRS, IJL			
ドイツ	ケムニッツ工科大学			
ベルギー	ルーヴァン・カトリック大学			