

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年4月30日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究（S）

研究期間：2009年度～2012年度

課題番号：21226016

研究課題名（和文）次世代型耐熱材料としての複相金属間化合物の用途展開のための基盤学問体系構築

研究課題名（英文）Basic Research to Develop Dual Multi-phase Intermetallic Alloys as Next-generation Type Heat Resistant Materials

研究代表者：

高杉 隆幸 (TAKASUGI TAKAYUKI)

大阪府立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20108567

研究成果の概要（和文）：2種類の  $Ni_3X$ 型金属間化合物同士を複相組織化した合金について、高温力学特性や耐環境特性を高める合金元素とその最適量の探索を行いながら、合金設計手法の確立と組織形成機構の解明および組織・相安定性の解明を行った。また、これら合金の溶解・鋳造および粉末法による素材製造技術ならびに熱処理、切削・研削加工、表面改質等の2次加工技術の確立を計り、種々の耐熱、耐摩耗、耐腐食材料としての用途展開を企業とともに行った。

研究成果の概要（英文）：For two-phase intermetallic alloys composed of two kinds of  $Ni_3X$ -type compounds, alloy design, microstructural development and stabilities of microstructures and constituent phases were studied, seeking the alloying elements and their optimum contents enhancing high-temperature properties such as mechanical and environment-proof properties. Also, the primary fabrication processes by melting/casting and powder metallurgy as well as the secondary fabrication processes by heat treatment, machining and surface modification were developed. In collaboration with industries, the present two-phase intermetallic alloys were applied to various kinds of high-temperature structural, wear resistance and corrosion resistance materials.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	36,500,000	10,950,000	47,450,000
2010年度	24,600,000	7,380,000	31,980,000
2011年度	10,800,000	3,240,000	14,040,000
2012年度	7,600,000	2,280,000	9,880,000
総計	79,500,000	23,850,000	103,350,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・構造・機能材料

キーワード：金属間化合物，耐熱材料，合金設計，複相組織

### 1. 研究開始当初の背景

地球温暖化を引き起こしている  $CO_2$  削減のためには熱変換システム装置や高温製造装置のエネルギー効率の向上が必要であり、新規な耐熱材料の開発が求められている。研究者等は、実用高温構造材料として当然有していなければならない製造性、延・韌性、汎用性、低コストさらには資源供給性等を検討して、①単純な結晶構造のもの、②汎用的な成分元

素からなるもの、③溶解・鋳造等による素材製造が容易なもの、④塑性加工，切削加工，表面改質等の2次加工が容易なものを開発研究対象としてきた結果，最密充填結晶構造（GCP相）に属する  $Ni_3X$ 型金属間化合物を複相化した新規合金に辿りついた。

一連の研究から， $Ni_3Al$  ( $L1_2$ ) と  $Ni_3V$  ( $D0_{22}$ ) が2重の階層構造からなる新規合金（Ni基超々合金と命名）（図1），ならびに，

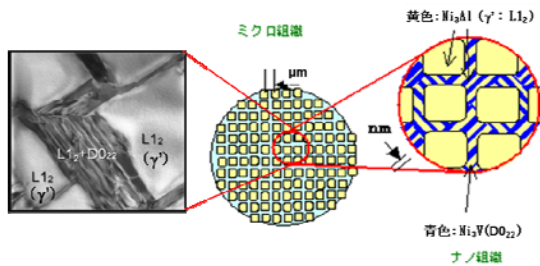


図1 Ni 基超々合金 (2 重複相合金)

Ni<sub>3</sub>Si (L1<sub>2</sub>)へ第3あるいは第4元素を添加することにより特段の特性を示す合金を創製した。これらの組織と成分では、構成相間に決まった方位関係が存在し、その上、整合性の良い相界面構造をとるため、優れた組織安定性と相安定性を示し、高温・長時間荷重下でも耐熱特性が低下することなく、その上、優れた耐環境性(耐酸化、耐腐食)や高温耐摩耗特性を示すことを見出した。

## 2. 研究の目的

(1) 基盤学問体系の確立: 新合金開発と応用を確かなものにするため、①合金設計法、②組織制御法、③製造加工法、④高温特性評価法等の学問分野の創成と体系化をはかる。さらに、当該合金の特性発現に関連する、①組織形成と組織安定性、②相安定性、③高温変形、④破壊靱性、⑤酸化、⑥腐食、⑦疲労、⑧摩耗に関するナノレベルでの機構解明をはかり、用途開発にフィードバックさせる。  
(2) 用途創成と開発: 新規にして革新的な次世代型高温耐環境耐熱材料の創製とその応用化を視野にいたした研究開発を行う。2種類の複相金属間化合物である Ni<sub>3</sub>Al-Ni<sub>3</sub>V 系複相合金(Ni 基超々合金)と Ni<sub>3</sub>(Si, Ti)系複相合金をベースに、新規の耐熱、耐摩耗、耐腐食合金を創成する。

## 3. 研究の方法

(1) 合金設計と組織創成および組織・相安定性の解明: 各種合金成分における相関係の把握、構成相の同定、固溶限の決定に基づき、状態図の構築を行い、組織形成の主要を把握し、構成相間の結晶整合性と微細組織を有する合金設計と組織制御を行う。  
(2) 高温力学および耐環境特性の解明: 各種の高温力学試験を行い、高温度域で高強度、高延性、高クリープ寿命を兼備する合金を開発する。続いて、高温大気中での酸化特性ならびに各種溶液中での腐食特性評価を行い、力学特性と耐環境特性とのバランスに富む多成分合金の開発を行う。  
(3) 製造・加工技術、用途展開: 企業との連携研究により、素材製造法、2次加工技術を確立する。汎用製造・加工法により、各種熱処理炉材、高温耐摩耗材料(超耐熱軸受、超耐熱ボルト・ナット、高融点・硬質鉄系用摩擦攪拌接合ツール、高温金型、高温ダイス)、

自動車用過給器、高温化学装置材料等の用途開発を、各用途に応じた成分、組織、製造法、高温特性、耐環境性の最適化を図りながら行う。

## 4. 研究成果

○ Ni<sub>3</sub>Al-Ni<sub>3</sub>V系複相金属間化合物合金(Ni 基超々合金)

(1) 2重複相組織について、種々の合金成分からなる2重複相組織について観察を行い、本組織特有な組織の形成機構、安定性、合金元素の影響等について解明した。例えば、上部あるいは下部複相間に存在する界面構造が合金成分に依存して整合あるいは半整合界面をとること等が把握された。また、チャンネル部に存在するNi<sub>3</sub>Vバリエント構造は初析Ni<sub>3</sub>Alとの弾性的なひずみエネルギーを最小にする特有な配行をとることを明らかにした(図2)。

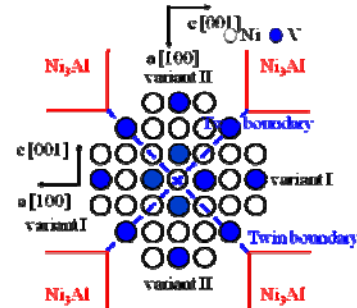


図2 チャンネル部のバリエント構造の一例

(2) 2重複相組織の強度を支配する組織因子の抽出をはかり、初析L1<sub>2</sub>相の体積率が重要であること、加えて、初析L1<sub>2</sub>相とチャンネル部の界面に界面強化が存在することを把握して、それらの強化機構と合金元素の役割について検討を加えた。また、単結晶試料を用いて、広い温度域ですべり変形に加えて双晶変形が活動する当該合金特有の変形様式の概要を捉えた。

(3) 耐熱温度を高める合金論を確立するために、各構成相の相安定性と分配係数におよぼす合金元素の役割について状態図的研究を行った。Ti, NbおよびTaなどが2重複相組織の安定温度域を高め、耐熱温度向上に有用な合金元素であることを見出した(図3)。

(4) 基超々合金の諸特性を向上させる有益な数種の合金元素を見出しその機構解明を行った。

①高温強度(硬度)あるいは耐摩耗特性向上がTaやNbによる固溶強化およびReによる析出強化により計られた。

②高温強度・延性、さらには、耐摩耗や耐酸化特性を改善する元素として少量の炭素ないし炭化物が有用であることを見出した。比重と価格を重視するタービン翼への適応性が高い合金成分を見出した。

③超々合金の2重複相組織を崩壊させずに、耐酸化、耐腐食、コストに不利益なV元素濃度を低減し得る合金手法論を添加元素の相分配と価電子数制御理念に基づいて構築した。これにより、V濃度を従来のものより1/3程度にまで低減させ得る第2世代超々合金成分を創製した。

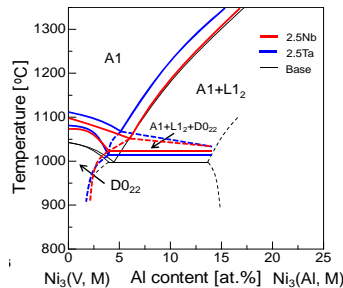


図3 Ni-Al-V合金系の縦断面図における相関係におよぼす合金元素の影響

(5) 企業との共同研究や産官学連携事業により、高温強度（硬度）や耐摩耗に優れた合金（図4）を高融点・硬質金属用摩擦攪拌接合ツールに適用し良好な接合特性を得た。また、耐摩耗、耐食、耐酸化に優れた合金を軸受内外輪へ適用し、熱処理炉内あるいは過酷な腐食溶液中で運転できる搬送装置使用への道を切り拓いた。さらには、比重、高温強度、耐酸化に優位な合金成分設計を行い航空機エンジン用タービン翼への展開を行った。



図4 Ni基超々合金製開発品。ジェット・エンジン用タービン翼(上左)、耐熱・耐食軸受(上中)、高融点硬質用摩擦攪拌接合ツール(上右)、耐熱・耐食締結部品(下左)、高温線引用ダイス(下右)

○ Ni<sub>3</sub>(Si, Ti)系複相金属間化合物合金

(1) L<sub>2</sub>型単相組織を維持する組成範囲において有益な機能を発現する幾つかの置換型合金元素を見出し、その機構解明を行った。

① Ta元素がTiサイトに置換するとき約6at%の固溶範囲を示し、著しい固溶強化が生じることを見出し、それが原子寸法効果によることを明らかにした。中間温度域で使用される耐熱・特殊環境用軸受のさらなる特性向上に繋がる有用な添加元素を発見した。

② 化学量論組成を制御しつつ、Al元素をTiサ

イトに置換させることにより、約6at%ものAlを固溶させることができた。これにより軽量性と耐酸化特性が求められる用途に供される合金成分を開発した。

③ 侵入型元素であるB, CおよびN元素の単独および複合微量添加により結晶粒界破壊が抑制され、本合金の中間温度での引張延性能と実用化に際して必要な高温加工性をさらに高めることに成功した。

(2) Ni<sub>3</sub>Si相をマトリックスとして第2相(Ni<sub>3</sub>Nb, Ni<sub>3</sub>Ti, Re-rich相など)を分散させることにより、塑性加工と高温強度のバランスに富む実用性の高い合金成分と組織を抽出することができた。

(3) Ni<sub>3</sub>Si および Ni<sub>3</sub>(Si, Ti)がメタノール分解反応およびメタンの水蒸気吸質反応に対して高い水素触媒活性を示すことを見出し、反応中に合金表面に自律的に形成されるナノ表面構造によることを明らかにした。これにより、担持体/触媒粒子一体型の新奇な水素製造用装置創出に繋がる成果を得た。

(4) 耐摩耗、耐食、耐酸化に優れたNi<sub>3</sub>(Si, Ti)合金を軸受内外輪へ適用し、熱処理炉内あるいは過酷な腐食溶液中で運転できる搬送装置創成への道を切り拓いた。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計61件)

- ① S. Kobayashi, K. Sato, E. Hayashi, T. Osaka, T. J. Konno, Y. Kaneno, and T. Takasugi, Alloying Effects on the Phase Equilibria among Ni(Al), Ni<sub>3</sub>Al(L<sub>12</sub>) and Ni<sub>3</sub>V(DO<sub>22</sub>) Phases, *Intermetallics*, 査読有、Vol.23, 2012, pp.68-75.  
DOI:10.1016/j.intermet.2011.12.008
- ② T. Moronaga, S. Ishii, Y. Kaneno, H. Tsuda and T. Takasugi, Aging Effect on Microstructure and Hardness of Two-phase Ni<sub>3</sub>Al-Ni<sub>3</sub>V Intermetallic Alloys containing Ta and Re, *Mat Sci Eng. A*, 査読有、Vol.539, 2012, pp. 30-37,  
DOI: 10.1016/j.msea.2011.12.106
- ③ T. Moronaga, Y. Kaneno, H. Tsuda and T. Takasugi, TEM Observation of the Channel Regions in a Two-phase Intermetallic Alloy Based on Ni<sub>3</sub>Al-Ni<sub>3</sub>V Pseudo-binary Alloy System, *Intermetallics*, 査読有、Vol.21, 2012, pp.80-87,  
DOI:10.1016/j.intermet.2011.09.012
- ④ K. Kawahara, T. Moronaga, Y. Kaneno, A. Kakitsuji, and T. Takasugi, Effect of Nb and Ti Addition on Microstructure and Hardness of Dual Two-phase Intermetallic Alloys Based on Ni<sub>3</sub>Al-Ni<sub>3</sub>V Pseudo-binary Alloy System, *Materials Transaction*, 査読有、Vol.51, 2010,

pp.1395-1403.

[学会発表] (計 1 1 1 件)

- ① T. Takasugi, and Y. Kaneno, The Effects of Alloying Elements on Microstructure and Hardness of Ni-base Dual Two-phase Intermetallic Alloys, The 2010 MRS Fall Meeting, 2010 年 11 月 28 日～12 月 3 日, Boston, USA
- ② 高杉隆幸, 金野泰幸, Ni 基超々合金の創製と実用開発, 日本金属学会 2010 年秋期大会, 2010 年 9 月 25～27 日, 北海道
- ③ 高杉隆幸, 金野泰幸, Ni 基超超合金の開発と状態図, 日本学術振興会合金状態図第 172 委員会第 17 回研究会, 2009 年 6 月 9 日, 東京
- ④ 高杉隆幸, 金野泰幸, 金属間化合物から超・超合金へ, 日本金属学会 2009 年秋期大会, 2009 年 9 月 15～17 日, 京都

[産業財産権]

○出願状況 (計 3 6 件)

- ① 名称: ニッケル系合金、鋳造材、熱間塑性加工材および熱間塑性加工材の製造方法  
発明者: 萩沢武仁、斑目広和、田中慎二、高杉隆幸, 金野泰幸  
権利者: 日本製鋼所(株)、大阪府立大学  
種類: 特許  
番号: 特願 2013-042276  
出願年月日: 2013 年 3 月 4 日  
国内外の別: 国内
- ② 名称: Ni 基金属間化合物焼結体およびその製造方法  
発明者: 金野泰幸, 高杉隆幸, 垣辻 篤  
権利者: 大阪府立大学、大阪府立産業技術総合研究所  
種類: 特許  
番号: 特願 2013-040993  
出願年月日: 2013 年 3 月 1 日  
国内外の別: 国内
- ③ 名称: Ni 基合金、それを用いた摩擦攪拌接合用ツール及びその製造方法  
発明者: 野間直宗、齋藤朋哉、山田廣志、高杉隆幸, 金野泰幸  
権利者: (株) エフテック、大阪府立大学  
種類: 特許  
番号: 特願 2012-261525  
出願年月日: 2012 年 11 月 29 日  
国内外の別: 国内
- ④ 名称: Ni 基合金、それを用いた摩擦攪拌接合用ツール及びその製造方法  
発明者: 野間直宗、齋藤朋哉、山田廣志、高杉隆幸, 金野泰幸  
権利者: (株) エフテック、大阪府立大学  
種類: 特許  
番号: 特願 2012-261524

出願年月日: 2012 年 11 月 29 日

国内外の別: 国内

- ⑤ 名称: Ni 基合金、それを用いた摩擦攪拌接合用ツール及びその製造方法  
発明者: 野間直宗、齋藤朋哉、山田廣志、高杉隆幸, 金野泰幸  
権利者: (株) エフテック、大阪府立大学  
種類: 特許  
番号: 特願 2012-261523  
出願年月日: 2012 年 11 月 29 日  
国内外の別: 国内
- ⑥ 名称: Ni 基合金、それを用いた摩擦攪拌接合用ツール及びその製造方法  
発明者: 野間直宗、齋藤朋哉、山田廣志、高杉隆幸, 金野泰幸  
権利者: (株) エフテック、大阪府立大学  
種類: 特許  
番号: 特願 2012-261522  
出願年月日: 2012 年 11 月 29 日  
国内外の別: 国内
- ⑦ 名称: ニッケル基金属間化合物複合焼結材料およびその製造方法  
発明者: 高杉隆幸, 金野泰幸, 川上 優  
権利者: 大阪府立大学、富士ダイス(株)  
種類: 特許  
番号: PCT/JP2012/076998  
出願年月日: 2012 年 10 月 18 日  
国内外の別: 外国
- ⑧ 名称: 摩擦攪拌加工用ツール及びこれを用いた摩擦攪拌加工方法  
発明者: 高杉隆幸, 金野泰幸, 沖 幸男、平田智丈、望月 昇  
権利者: 大阪府立大学、近畿大学、アイセル(株)  
種類: 特許  
番号: PCT/JP2012/057940  
出願年月日: 2012 年 3 月 27 日  
国内外の別: 外国
- ⑨ 名称: 摩擦攪拌加工装置及び摩擦攪拌加工方法  
発明者: 沖 幸男、寛 貴一、平田智丈、高杉隆幸, 金野泰幸, 望月 昇、内田隆憲  
権利者: 近畿大学、大阪府立大学、アイセル(株)  
種類: 特許  
番号: PCT/JP2012/057939  
出願年月日: 2012 年 3 月 27 日  
国内外の別: 外国
- ⑩ 名称: Ni<sub>3</sub>Si 系金属間化合物を含有する水素製造用触媒、当該触媒を活性化させる方法、当該触媒を用いた水素製造方法及び装置  
発明者: 高杉隆幸, 金野泰幸  
権利者: 大阪府立大学  
種類: 特許  
番号: PCT/JP2012/55984  
出願年月日: 2012 年 3 月 8 日

- 国内外の別：外国
- ⑪ 名称：Ta 及び Al が添加された  $Ni_3(Si,Ti)$  系金属間化合物合金で形成された耐熱軸受及びその製造方法  
発明者：高杉隆幸、金野泰幸、藤井秀和  
権利者：大阪府立大学  
種類：特許  
番号：PCT/JP2012/051845  
出願年月日：2012 年 1 月 27 日  
国内外の別：外国
- ⑫ 名称：ニッケル基金属間化合物複合焼結材料およびその製造方法  
発明者：高杉隆幸、金野泰幸、川上 優  
権利者：大阪府立大学、富士ダイス(株)  
種類：特許  
番号：特願 2011-230005  
出願年月日：2011 年 10 月 19 日  
国内外の別：国内
- ⑬ 名称：ニッケル基金属間化合物焼結体およびその製造方法  
発明者：高杉隆幸、金野泰幸、垣辻篤、川上優  
権利者：大阪府立大学、大阪府、富士ダイス  
種類：特許  
番号：特願 2011-229763  
出願年月日：2011 年 10 月 19 日  
国内外の別：国内
- ⑭ 名称：Re が添加された Ni 基 2 重複相金属間化合物合金及びその製造方法  
発明者：高杉隆幸、金野泰幸  
権利者：大阪府立大学  
種類：特許  
番号：PCT/JP2011/066466  
出願年月日：2011 年 7 月 20 日  
国内外の別：外国
- ⑮ 名称：摩擦攪拌加工装置及び摩擦攪拌加工方法  
発明者：沖 幸男、笥 貴一、平田智丈、高杉隆幸、金野泰幸、望月 昇  
権利者：近畿大学、大阪府、大阪府立大学、アイセル(株)  
種類：特許  
番号：特願 2011-72459  
出願年月日：2011 年 3 月 29 日  
国内外の別：国内
- ⑯ 名称：摩擦攪拌加工装置及び摩擦攪拌加工方法  
発明者：沖 幸男、笥 貴一、平田智丈、高杉隆幸、金野泰幸、望月 昇、内田隆憲  
権利者：近畿大学、大阪府、大阪府立大学、アイセル(株)  
種類：特許  
番号：特願 2011-72458  
出願年月日：2011 年 3 月 29 日  
国内外の別：国内
- ⑰ 名称：摩擦攪拌加工用ツール及びこれを用いた摩擦攪拌加工方法  
発明者：高杉隆幸、金野泰幸、沖 幸男、平田智丈、望 月昇  
権利者：大阪府立大学、近畿大学、大阪府、アイセル(株)  
種類：特許  
番号：特願 2011-72460  
出願年月日：2011 年 3 月 29 日  
国内外の別：国内
- ⑱ 名称：Nb 及び C を含む Ni 基 2 重複相金属間化合物合金及びその製造方法  
発明者：高杉隆幸、金野泰幸  
権利者：大阪府立大学  
種類：特許  
番号：PCT/JP2011/057418  
出願年月日：2011 年 3 月 25 日  
国内外の別：外国
- ⑲ 名称：Ti 及び C を含む Ni 基 2 重複相金属間化合物合金及びその製造方法  
発明者：高杉隆幸、金野泰幸  
権利者：大阪府立大学  
種類：特許  
番号：PCT/JP2011/057416  
出願年月日：2011 年 3 月 25 日  
国内外の別：外国
- ⑳ 名称：Re が添加された  $Ni_3(Si,Ti)$  金属間化合物合金及びその製造方法  
発明者：金野泰幸、高杉隆幸  
権利者：大阪府立大学  
種類：特許  
番号：特願 20 11-64660  
出願年月日：2011 年 3 月 23 日  
国内外の別：国内
- ㉑ 名称： $Ni_3Si$  系金属間化合物を含有する水素製造用触媒、当該触媒を活性化させる方法、当該触媒を用いた水素製造法及び装置  
発明者：金野泰幸、高杉隆幸  
権利者：大阪府立大学  
種類：特許  
番号：特願 2011-55626  
出願年月日：2011 年 3 月 14 日  
国内外の別：国内
- ㉒ 名称：摩擦加工用ツール、これを用いた摩擦加工装置及び摩擦加工方法  
発明者：高杉隆幸、金野泰幸、沖 幸男、久保圭史、平田智丈、望月 昇  
権利者：大阪府立大学、近畿大学、アイセル(株)  
種類：特許  
番号：PCT/JP2011/53399  
出願年月日：2011 年 2 月 17 日  
国内外の別：外国
- ㉓ 名称：Ta 及び Al が添加された  $Ni_3(Si,Ti)$  系金属間化合物合金で形成された耐熱軸受及びその製造方法  
発明者：高杉隆幸、金野泰幸、藤井秀和  
権利者：大阪府立大学、日本ピロブロック(株)  
種類：特許  
番号：特願 2011-15348

出願年月日：2011年1月27日  
国内外の別：国内

その他に13件

○取得状況（計9件）

- ① 名称：高い硬度を有するNi基金属間化合物  
発明者：高杉隆幸、金野泰幸  
権利者：大阪府立大学  
種類：特許  
番号：特許第5162492号  
取得年月日：2012年12月21日  
国内外の別：国内
- ② 名称：VおよびNbを含有し、かつ、二重複相組織を有するNi<sub>3</sub>Al基金属間化合物、およびその製造方法、耐熱構造材  
発明者：高杉隆幸、金野泰幸  
権利者：大阪府立大学  
種類：特許  
番号：特許第5146935号  
取得年月日：2012年12月7日  
国内外の別：国内
- ③ 名称：2重複相組織からなるVおよびTiを含有するNi<sub>3</sub>Al基金属間化合物及びその製造方法、耐熱構造材  
発明者：高杉隆幸、金野泰幸  
権利者：大阪府立大学  
種類：特許  
番号：特許第5127144号  
取得年月日：2012年11月9日  
国内外の別：国内
- ④ 名称：VおよびNbを含有し、かつ、二重複相組織を有するNi<sub>3</sub>Al基金属間化合物、およびその製造方法、耐熱構造材  
発明者：高杉隆幸、金野泰幸  
権利者：大阪府立大学  
種類：特許  
番号：US8197618  
取得年月日：2012年6月12日  
国内外の別：外国
- ⑤ 名称：Ni<sub>3</sub>Si-Ni<sub>3</sub>Ti-Ni<sub>3</sub>Nb系複相金属間化合物、その製造方法、高温構造材料  
発明者：高杉隆幸、金野泰幸  
権利者：大阪府立大学  
種類：特許  
番号：特許第5010841号  
取得年月日：2012年6月8日  
国内外の別：国内
- ⑥ 名称：耐酸化性及び耐食性に優れたNi<sub>3</sub>(Si,Ti)系基金属間化合物、当該基金属間化合物圧延箔、および当該基金属間化合物圧延箔の製造方法  
発明者：高杉隆幸、金野泰幸  
権利者：大阪府立大学  
種類：特許

番号：特許第4973301号  
取得年月日：2011年4月20日  
国内外の別：国内

- ⑦ 名称：Ni<sub>3</sub>(Si,Ti)系基金属間化合物からなるメタノールからの水素製造用触媒、水素製造方法、水素製造装置  
発明者：高杉隆幸、金野泰幸、許 亜、出村雅彦、平野敏幸  
権利者：大阪府立大学、物資・材料研究機構  
種類：特許  
番号：特許第4918646号  
取得年月日：2012年2月10日  
国内外の別：国内
- ⑧ 名称：VおよびNbを含有し、かつ、二重複相組織を有するNi<sub>3</sub>Al基金属間化合物、およびその製造方法、耐熱構造材  
発明者：高杉隆幸、金野泰幸  
権利者：大阪府立大学  
種類：特許  
番号：GB2447222  
取得年月日：2011年4月13日  
国内外の別：外国
- ⑨ 名称：Ni<sub>3</sub>(Si,Ti)系箔及びその製造法  
発明者：高杉隆幸、金野泰幸  
権利者：大阪府立大学  
種類：特許  
番号：特許第4756974号  
取得年月日：2010年6月10日  
国内外の別：国内

〔その他〕  
ホームページ等  
[http://takasugi-kaken\\_s.mtr.osakafu-u.ac.jp](http://takasugi-kaken_s.mtr.osakafu-u.ac.jp)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高杉 隆幸(TAKASUGI TAKAYUKI)  
大阪府立大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：20108567

### (2) 研究分担者

金野 泰幸(KANENO YASUYUKI)  
大阪府立大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：50214482  
津田 大(TSUDA HIROSHI)  
大阪府立大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：80217322  
西村 六郎(NISHIMURA ROKUROU)  
大阪府立大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：90110634  
小林 覚(KOBAYASHI SATORU)  
東北大学金属材料研究所・助教  
研究者番号：90110634  
吉田 光彦(YOSHIDA MITSUHIKO)  
仙台高等専門学校・教授  
研究者番号：40042254