

平成 21 年 5 月 29 日現在

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2006～2008

課題番号：18360335

研究課題名 (和文) Ni 基超合金の創製と応用展開

研究課題名 (英文) Development and Application of Ni Base Dual Two-phase Intermetallic Alloys

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：L1<sub>2</sub>相(Ni<sub>3</sub>Al)とD0<sub>22</sub>相(Ni<sub>3</sub>V)とが2重に複相共存し、かつ、整合性の良い微細組織を形成する複相金属間化合物合金を見出し、高温材料として優れた特性を発現する基本成分と組織を創製した。本複相金属間化合物合金の組織形成機構、高温強度特性、耐環境特性についての研究を行い、先進超合金に匹敵する高温力学特性さらには耐環境特性を発現することを観察した。また、これら優れた高温特性に基づき、幾つかの耐熱部材・部品のプロトタイプ製造を企業との連携により行い、次世代型耐熱材料開発の道筋を切り拓いた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	11,300,000	3,390,000	14,690,000
2007年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
年度			
総計	15,700,000	4,710,000	20,410,000

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：高温材料，金属間化合物，耐熱材料，微細組織，超合金，高温力学特性

## 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<sub>2</sub> 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、これを可能にするための新規な耐熱材料の開発が求められている。著者等はこれらの材料を開発するに当たって、実用耐熱材料として当然有していなければならない製造性、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ユビキタス元素を主要な合金元素とすること、③溶解・ casting 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の対象としてきた。前回の文部

科学省科学研究費研究課題「Ni 基マルチインターメタリックス In-situ 複合材料の合金設計と組織制御」(H15～17, 基盤研究費 (B)) において、最密充填結晶構造 (Geometrically Close Packed Structure) に属する Ni<sub>3</sub>X 型金属間化合物相が相平衡し組織安定性にも優れていることを見出し、新規な耐熱材料としての可能性を秘めていることを明らかにした。これらの成果より、GCP 相同土を複相化することで高温強度と延性を兼備する新規耐熱合金開発のコンセプトと方針が生み出された。

## 2. 研究の目的

Ni<sub>3</sub>X 型金属間化合物相を主要な構成相とする複相金属間化合物のうち、固相変態により結晶整合性と微細組織が得られた L1<sub>2</sub> 相 (Ni<sub>3</sub>Al)-D0<sub>22</sub> 相 (Ni<sub>3</sub>V) 擬二元系合金に重点を置いて研究開発を行うこととした。まず、微細組織形成機構、相および組織安定性、高温力学特性とその変形機構解明等の基礎研究、続いて、用途開拓に付随して必要な酸化特性さらには各種溶液中での腐食特性等の耐環境特性について、加えて、次世代型耐熱材料の創出を計るために、数種の新規耐熱部材・部品のプロトタイプ製造を企業との連携により試行し、用途展開のための道を拓くこととした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 合金設計と組織創製

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、等温ならびに縦状態図の構築を行い、組織形成の概要を把握し、構成相間の結晶整合性と微細組織を有する成分と組織を見いだすこととした。また、高温での組織安定性に優れた成分と合金の開発を行うこととした。

#### (2) 高温力学および耐環境特性

主要な合金について、広範な温度範囲で引張試験、圧縮試験、クリープ試験を行うこととした。これらの試験を通じて、高温域で高強度、高延性、高クリープ寿命を兼備する合金を抽出することとした。続いて、優れた高温強度と延性特性を示した合金と組織について、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合金の開発を行うこととした。

#### (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次加工法、熱処理法、表面硬化処理法、切削・研削法の確立を行った。さらに、これら汎用製造法と加工法により、ジェット・エンジンタービン・ブレード、硬質・高融点金属用摩擦攪拌接合用ツール、高温特殊環境用締結部材、超耐熱特殊環境用ボール・ベアリング部材のプロトタイプを製造することとした。

### 4. 研究成果

#### (1) 合金設計と組織創製

Ni 基超超合金の主成分は Ni であり、必須の合金元素として Al および V を含んでいる。溶解・鋳造後、必要に応じて多段階熱処理を施すことにより、Ni<sub>3</sub>Al (L1<sub>2</sub> 型) と Ni<sub>3</sub>V (D0<sub>22</sub> 型) を構成相として、マイクロ尺度とナノ尺度の2重 (bimodal) の階層構造からなる超微細複相組織 (図 1, 2) が形成されることをみいだした。これらの組織では、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、高温・長時間荷重下でも優れた組織安定性と熱安定を示す。そのため、

耐熱特性が低化することなく、既存 Ni 基超合金を上回る高温力学特性を発現することをみいだした。これらの合金を Ni 基超超合金と命名した。特性あるいは用途に応じて、少量の Nb, Ti, Co, Cr 等の元素を単独あるいは複合添加する。密度は 8.0g/mm<sup>3</sup> 前後の軽量性を有し、500~600Hv の常温硬さを示す。また、ヤング率、剛性率、熱伝導度、線膨張係数は汎用 Ni 基超合金のそれらより 10~20%程度小さい特徴を有している。

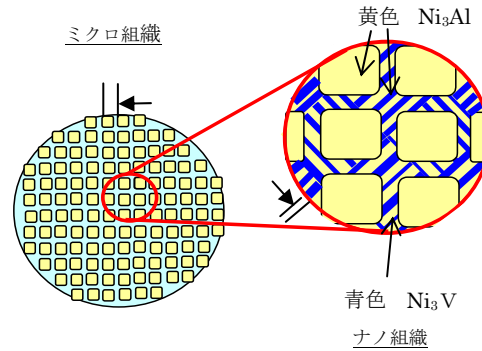


図 1 超微細 2 重複相組織の概念図

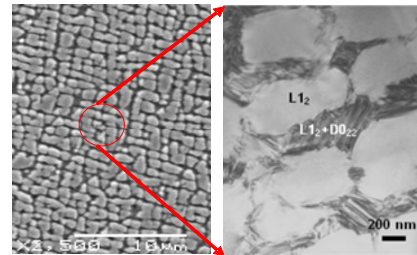


図 2 Ni 基超超合金の電子顕微鏡像

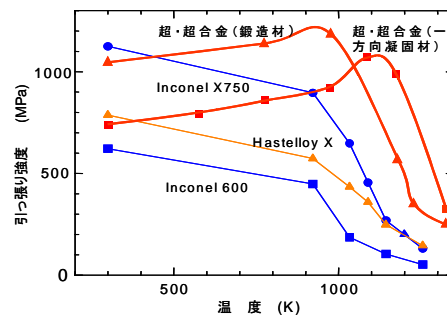


図 3 2 重複相金属間化合物合金の高温引張強度特性。既存 Ni 合金より高温ほど優れている。

#### (2) 高温力学および耐環境特性

Ni 基超超合金は、950℃付近で既存 Ni 基超合金より数倍も高い引張強度 (図 3)、また、既存 Ni 基超合金に匹敵あるいは上回るクリープ強度と破断寿命を示すことを明らかにした。引張り伸びは広範な温度域で、単結晶組織では 15%を超える値を、多結晶では数%程度の値を有していた。2 重複相組織中での初析 L1<sub>2</sub>(Ni<sub>3</sub>Al) 相は軟質相として、共析組織領域 (すなわちチャンネル部) は硬質相として振舞うことが示された。また、

これら異相間の界面が強化に大きく寄与していることを見出した。一方、高温硬さ試験より、常温域での硬さが900℃付近までほとんど低下することなく維持されることを見出し、常温域のみならず高温での耐摩耗特性が特段に優れていることが示唆された。

本合金の優れた高温強度と延性を維持しつつ、現用Ni基超合金、例えば、CMSX-4より優れた耐酸化特性を有する合金成分を見出すことができた。他方、硫酸溶液や塩酸溶液中で現用耐熱ステンレス、耐熱Ti合金あるいはハステロイ合金と同程度あるいはそれより優れた耐腐食特性を示すことが分かった。

### (3) 素材製造・2次加工技術、用途展開

Ni基超合金は既存金属加工産業で広く利用されている各種素材製造法や2次加工技術さらには既存装置が活用できる優位性を有している。溶解技術では、汎用的な高周波真空溶解がアルミナ等の安価な坩堝を用いて可能であることを確認し、大型素材製造につながる成果を得た。鑄造技術では、金型あるいは砂型に鑄造することができ、多様な鑄造方案の採用が可能であることがわかった。塑性加工技術では、高温(~1300℃)での鍛造が可能であることを確認し、量産性の高い板材や棒材への加工が容易であることを示した。研削・切削技術では、超硬工具による切削や砥石研削加工が可能であることを確認し、任意な部材加工への道を拓いた。熱処理技術では、真空中および不活性ガス中での熱処理が可能であることを示した。Ni基超合金に窒化あるいは浸炭による表面硬化処理を施すことにより、本合金の表面硬さが著しく増大することを見出し、高温耐摩耗あるいは耐疲労特性向上の手立てを得た。

ジェット・エンジンタービン・ブレードへの適用を図るための基礎特性調査を企業と共に行った。耐酸化特性、高温クリープ強度、比重等を詳細に検討した結果、低圧タービン・ブレードへの適用性が極めて高いことを確認すると共に、試作品を作製し製造性にも優れていることを示した(図4a)。600℃を超える高温環境下において冷却を必要とせずに稼働可能な超耐熱ボール・ベアリングの開発を企業と共に行った。その結果、既存SUSマルテンサイト系合金より数桁も少ない摩耗減量をNi基超合金製において観察した(図4b)。さらには、硬質・高融点金属用摩擦攪拌接合ツールへの適用のための産学官連携事業による研究開発を開始した(図4c)。耐熱ステンレス薄板の接合加工実験を繰り返すことにより、現在検討されている他の候補材料より特段に優れた耐久性、製造製、コスト、信頼性を有していることを示した。その他、高温での耐摩耗特性や耐疲労特性が求められる耐熱締結部材(ボルト・ナット)(図4d)、耐熱ダイス、耐熱工具、耐熱金型への適用を

企業との連携により行っている。



図4 Ni基超合金製試作品。(a)ジェット・エンジン用タービン・ブレード、(b)超耐熱・耐食ボールベアリング、(c)高融点硬質鉄系用摩擦攪拌(FSW)接合ツール、(d)超耐熱・耐食ボルト・ナット

### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計20件)

- 1) K. Kawahara, Y. Kaneno, A. Kakitsuji and T. Takasugi, Microstructural factors affecting hardness property of dual two-phase intermetallic alloys based on Ni<sub>3</sub>Al-Ni<sub>3</sub>V pseudo-binary alloy system, *Intermetallics*, (2009) in press, 査読有.
- 2) Y. Kaneno, N. Matsumoto, N. Tsuji, S. Tanaka and T. Takasugi, Plasma-assisted surface hardening of dual two-phase intermetallic alloy composed of Ni<sub>3</sub>X type structures, *Materials Sci. and Eng. A*, (2009) in press, 査読有.
- 3) Y. Kaneno, N. Matsumoto, T. Takasugi, N. Tsuji and S. Tanaka, Surface hardening of dual multi-phase intermetallic alloy composed of Ni<sub>3</sub>X type structures by plasma-nitriding and -carburizing, *IFHTSE2008*, (2009) in press, 査読有.
- 4) Y. Kaneno, N. Matsumoto, N. Tsuji, S. Tanaka and T. Takasugi, Plasma-assisted surface modification of two-phase intermetallic alloy composed of Ni<sub>3</sub>X type structures, *Advanced Intermetallic-Based Alloys for Extreme Environment and Energy Applications*, *MRS Symp. Proc. Publications*, 1128, U05-32 (2009), 査読有.
- 5) T. Takasugi and Y. Kaneno, Properties and application for two-phase intermetallic alloys composed of geometrically close packed Ni<sub>3</sub>X(X:Al and V) structures, *Advanced Intermetallic-Based Alloys for Extreme Environment and Energy Applications*, *MRS Symp. Proc. Publications*, 1128, U06-04, (2009), 査読有.
- 6) W. Soga, Y. Kaneno, M. Yoshida and T. Takasugi, Microstructure and mechanical property in dual two-phase intermetallic

- alloys composed of geometrically close-packed  $Ni_3X$  ( $X: Al$  and  $V$ ) containing  $Nb$ , *Materials Sci. and Eng. A*, 473, 180-188 (2008), 査読有.
- 7) M. Fujita, Y. Kaneno and T. Takasugi, The effect of second-phase dispersions on mechanical property of  $Ni_3Si$  based multi-phase intermetallic alloys, *Materials Sci. and Eng. A*, 476, 112-119 (2008), 査読有.
- 8) Y. Kaneno, W. Soga, H. Tsuda and T. Takasugi, Microstructural evolution and mechanical property in dual two-phase intermetallic alloys composed of geometrically close-packed  $Ni_3X$  ( $X: Al$  and  $V$ ) containing  $Nb$ , *J. Mater. Science*, 43, 748-758 (2008), 査読有.
- 9) S. Shibuya, Y. Kaneno, M. Yoshida, T. Shishido and T. Takasugi, Mechanical Properties of *dual* multi-phase single-crystal intermetallic alloy composed of geometrically close packed  $Ni_3X$  ( $X: Al$  and  $V$ ) type structures, *Intermetallics*, 15, 119-127 (2007), 査読有.
- 10) T. Takasugi and Y. Kaneno, Development of multi-phase intermetallic alloys composed of  $Ni_3X$ -type structures, *Solid state phenomena*, 127, 161-166 (2007), 査読有.
- 11) S. Shibuya, Y. Kaneno, H. Tsuda and T. Takasugi, Microstructural evolution of *dual* multi-phase intermetallic alloys composed of geometrically close packed  $Ni_3X$  ( $X: Al$  and  $V$ ) type structures, *Intermetallics*, 15, 338-348 (2007), 査読有.
- 12) T. Takasugi and Y. Kaneno, Development of dual multi-phase intermetallic alloys composed of geometrically close packed  $Ni_3X$  ( $X: Al$  and  $V$ ) structures, *Advanced Intermetallic-Based Alloys*, *MRS Symp. Proc. Publication*, 980, 469-474 (2007), 査読有.
- 13) T. Takasugi, Y. Kaneno and H. Tsuda, Microstructural evolution of dual two-phase intermetallic alloys composed of GCP  $Ni_3Al$  and  $Ni_3V$  phases containing  $Ti$ , *Advanced Intermetallic-Based Alloys*, *MRS Symp. Proc. Publications*, 980, 529-534 (2007), 査読有.
- 14) W. Soga, Y. Kaneno and T. Takasugi, Microstructure and mechanical properties of dual multi-phase intermetallic alloys composed of GCP  $Ni_3Al$  and  $Ni_3V$  phases containing  $Nb$ , *Advanced Intermetallic-Based Alloys*, *MRS Symp. Proc. Publications*, 980, 547-552 (2007), 査読有.
- 15) M. Fujita, Y. Kaneno and T. Takasugi, Microstructure and mechanical properties of multi-phase intermetallic alloys composed of GCP  $Ni_3X$  ( $X: Si, Ti$  and  $Nb$ ) phases, *Advanced Intermetallic-Based Alloys*, *MRS Symp. Proc. Publications*, 980, 577-582 (2007), 査読有.
- 16) T. Takasugi and Y. Kaneno, Microstructure and Mechanical properties of dual multi-phase intermetallic alloys composed of geometrically close packed  $Ni_3X$  structures, *Proceedings of PRICM-6, Materials Science Forum*, 561-565, 375-378 (2007), 査読有.
- 17) W. Soga, Y. Kaneno and T. Takasugi, Phase relation and microstructure in multi-phase intermetallic alloys based on  $Ni_3Al-Ni_3Nb-Ni_3V$  pseudo-ternary alloy system, *Intermetallics*, 14, 170-179, (2006), 査読有.
- 18) K. Ohira, Y. Kaneno, H. Tsuda and T. Takasugi, Further investigation on phase relation and microstructures in  $Ni_3Si-Ni_3Ti-Ni_3Nb$  pseudo-ternary alloy system, *Intermetallics*, 14, 367-376 (2006), 査読有.
- 19) Y. Nunomura, Y. Kaneno, H. Tsuda and T. Takasugi, Dual multi-phase intermetallic alloys composed of geometrically close-packed  $Ni_3X$  ( $X: Al, Ti$  and  $V$ ) type structures – I. Microstructures and their stabilities, *Acta Materialia*, 54, 851-860 (2006), 査読有.
- 20) S. Shibuya, Y. Kaneno, M. Yoshida and T. Takasugi, Dual multi-phase intermetallic alloys composed of geometrically close-packed  $Ni_3X$  ( $X: Al, Ti$  and  $V$ ) type structures – II. Mechanical properties, *Acta Materialia*, 54, 861-870 (2006), 査読有.
- [学会発表] (計 36 件)
- 1) 河原弘治、金野泰幸、高杉隆幸、Ni基超・超合金の高温組織安定性、日本金属学会春期大会(2009年3月28-30日、東京).
- 2) 河原弘治、金野泰幸、高杉隆幸、Ni基超・超合金(2重複相合金)の高温組織安定性、日本金属学会春期大会(2009年3月28-30日、東京).
- 3) 北浦祐太、金野泰幸、高杉隆幸、Ni基超・超合金(2重複相合金)の機械的特性と耐酸化特性に及ぼすCr添加の影響、日本金属学会春期大会(2009年3月28-30日、東京).
- 4) 松岡泰之、金野泰幸、高杉隆幸、 $Ni_3Si$ 基マルチ・インターメタリックスの冷間加工性と機械的特性、日本金属学会春期大会(2009年3月28-30日、東京).
- 5) 金野泰幸、松本直樹、北浦祐太、高杉隆幸、辻宣佳、田中信一、浸炭、窒化处理によるNi基超・超合金の表面硬化、日本鉄鋼協会秋季講演大会(2009年3月28-30日、東京).
- 6) 松岡泰之、金野泰幸、高杉隆幸、冷間圧延した $Ni_3Si$ 基複相金属間化合物の組織と機械的特性、日本鉄鋼協会春季講演大会学生ポスターセッション(2009年3月

- 28-30 日, 東京)
- 7) 林永記, 小林寛, 高杉隆幸, Ni $\rightarrow$ Ni<sub>3</sub>Al(L1<sub>2</sub>) + Ni<sub>3</sub>V(D0<sub>22</sub>) 共析反応温度に及ぼす合金元素添加の効果, 日本鉄鋼協会春季講演大会, (2009 年 03 月 28-30 日, 東京)
  - 8) T. Takasugi and Y. Kaneno, Properties and Application for Two-Phase Intermetallic Alloys Composed of Geometrically Close Packed Ni<sub>3</sub>X(X:Al and V) Structures, MRS Fall Meeting (Boston, USA, December 1-5, 2008)
  - 9) K. Kawahara, Y. Kaneno and T. Takasugi, Microstructural factors affecting strength property of dual two-phase intermetallic alloy based on Ni<sub>3</sub>Al-Ni<sub>3</sub>V pseudo-binary system, MRS Fall Meeting (Boston, USA, December 1-5, 2008)
  - 10) Y. Kaneno, N. Matsumoto, N. Tsuji, S. Tanaka and T. Takasugi, Plasma-Assisted Surface Modification of Two-Phase Intermetallic Alloy Composed of Ni<sub>3</sub>X Type Structures, MRS Fall Meeting (Boston, USA, December 1-5, 2008)
  - 11) Y. Kaneno, N. Matsumoto, T. Takasugi, N. Tsuji and S. Tanaka, Surface Hardening of Dual Multi-Phase Intermetallic Alloy Composed of Ni<sub>3</sub>X Type Structures by Plasma-Nitriding and -Carburizing, The 17th International Federation for Heat Treatment and Surface Engineering (IFHTSE) Congress (Kobe, Japan, 2008 年 10 月 27-30 日)
  - 12) 高杉隆幸, 金野泰幸, Ni 基超・超合金 (2 重複相金属間化合物合金) の開発, 日本金属学会秋期大会 (2008 年 9 月 23-25 日, 熊本)
  - 13) 河原弘治, 金野泰幸, 高杉隆幸, Ni 基超・超合金の組織と強度との相関, 日本金属学会秋期大会 (2008 年 9 月 23-25 日, 熊本)
  - 14) 北浦祐太, 金野泰幸, 高杉隆幸, Ni 基超・超合金の引張特性と耐酸化特性に及ぼす Cr, Co 添加の影響, 日本金属学会秋期大会 (2008 年 9 月 23-25 日, 熊本)
  - 15) 高杉隆幸, 金野泰幸, 筑後一義, Ni 基超・超合金の化学特性, 日本金属学会秋期大会 (2008 年 9 月 23-25 日, 熊本)
  - 16) 金野泰幸, 北浦祐太, 高杉隆幸, Ni 基超・超合金の強度および硬さ特性に及ぼす添加元素の効果, 日本鉄鋼協会第秋季講演大会, (2008 年 9 月 23-25 日, 熊本)
  - 17) 河原弘治, 金野泰幸, 高杉隆幸, Ni 基超・超合金の強度特性に及ぼす組織因子, 日本鉄鋼協会第秋季講演大会, (2008 年 9 月 23-25 日, 熊本)
  - 18) 北浦祐太, 金野泰幸, 高杉隆幸, Cr と Co を添加した Ni 基超・超合金の機械的および化学的性質, 日本鉄鋼協会第秋季講演大会, 学生ポスターセッション, (2008 年 9 月 23-25 日, 熊本)
  - 19) 金野泰幸, 松本直樹, 北浦祐太, 高杉隆幸, 辻宣佳, 田中信一, プラズマ窒化・浸炭による Ni 基 2 重複相金属間化合物の表面硬化, 日本金属学会春期大会 (2008 年 3 月 26-28 日, 東京)
  - 20) 岡田寛行, 金野泰幸, 高杉隆幸, Ni 基 2 重複相金属間化合物の微細組織に及ぼす組成と熱処理の影響, 日本金属学会春期大会 (2008 年 3 月 26-28 日, 東京)
  - 21) 松本直樹, 金野泰幸, 高杉隆幸, Ni 基超・超合金に対するプラズマ表面硬化処理の適用, 日本鉄鋼協会春季講演大会 学生ポスターセッション, (2008 年 3 月 26-28 日, 東京)
  - 22) 岡田寛行, 金野泰幸, 高杉隆幸, 最密充填 Ni<sub>3</sub>X(X=Al, V) 相からなる 2 重複相金属間化合物の微細組織に及ぼす組成と熱処理の影響, 日本鉄鋼協会春季講演大会 学生ポスターセッション, (2008 年 3 月 26-28 日, 東京)
  - 23) T. Takasugi and Y. Kaneno, Microstructure and Mechanical Properties of Dual Multi-Phase Intermetallic Alloys Composed of Geometrically Close Packed Ni<sub>3</sub>X Structures, The Sixth Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (PRICM6) (Jeju, Korea, November 5-9, 2007)
  - 24) 曾我航, 金野泰幸, 高杉隆幸, 2 重複相組織を有する Ni<sub>3</sub>Al-Ni<sub>3</sub>Nb-Ni<sub>3</sub>V 擬三元系合金の高温力学特性, 日本金属学会春期大会 (2007 年 3 月 27-29 日, 習志野)
  - 25) 高杉隆幸, 金野泰幸, Ni 基超合金の創製と応用, 日本金属学会春期大会 (2007 年 3 月 27-29 日, 習志野)
  - 26) 金野泰幸, 高杉隆幸, 2 重複相組織から成る Ni<sub>3</sub>Al-Ni<sub>3</sub>Ti-Ni<sub>3</sub>V 擬三元系合金の高温力学特性, 日本金属学会春期大会 (2007 年 3 月 27-29 日, 習志野)
  - 27) 曾我航, 高杉隆幸, 金野泰幸, 2 重複相組織を有する Ni 基超合金の組織と機械的性質, 日本鉄鋼協会・日本金属学会関西支部 第 3 回材料開発研究会 (2006 年 12 月 21 日, 京都)
  - 28) 藤田真吉, 高杉隆幸, 金野泰幸, Ni<sub>3</sub>Si 基マルチインターメタリックスにおける組織と機械的性質, 日本鉄鋼協会・日本金属学会関西支部 第 3 回材料開発研究会 (2006 年 12 月 21 日, 京都)
  - 29) T. Takasugi and Y. Kaneno, Development of Dual Multi-Phase Intermetallic Alloys Composed of Geometrically Close Packed Ni<sub>3</sub>X(X:Al and V) Structures, MRS Fall Meeting (Boston, USA, November 27-December 1, 2006)
  - 30) T. Takasugi, Y. Kaneno and H. Tsuda, Microstructural Evolution of Dual

Multi-Phase Intermetallic Alloys Composed of GCP Ni<sub>3</sub>Al and Ni<sub>3</sub>V Phases Containing Ti, MRS Fall Meeting (Boston, USA, November 27-December 1, 2006)

- 31) W. Soga, Y. Kaneno and T. Takasugi, Microstructure and Mechanical Properties of Dual Multi-Phase Intermetallic Alloys Composed of GCP Ni<sub>3</sub>Al and Ni<sub>3</sub>V Phases containing Nb, MRS Fall Meeting (Boston, USA, November 27-December 1, 2006)
- 32) M. Fujita, Y. Kaneno and T. Takasugi, Microstructure and Mechanical Properties of Multi-Phase Intermetallic Alloys Composed of GCP Ni<sub>3</sub>X (X: Si, Ti and Nb) Phases, MRS Fall Meeting (Boston, USA, November 27-December 1, 2006)
- 33) 渋谷聡, 津田大, 金野泰幸, 高杉隆幸, 最密充填Ni<sub>3</sub>X (X: Al, V) 相からなる2重複相金属間化合物における微細組織形成、日本金属学会秋期大会 (2006年9月16-18日, 新潟)
- 34) 藤田真吉, 金野泰幸, 高杉隆幸, Ni<sub>3</sub>Si基マルチインターメタリックスにおける組織と機械的性質、日本金属学会秋期大会 (2006年9月16-18日, 新潟)
- 35) 藤田真吉, 金野泰幸, 高杉隆幸, Ni<sub>3</sub>Si-Ni<sub>3</sub>Ti-Ni<sub>3</sub>Nb複相金属間化合物における組織と力学特性、日本鉄鋼協会秋季講演大会 (2006年9月16-18日, 新潟)
- 36) T. Takasugi and Y. Kaneno, Development of Multi-Phase Intermetallic Alloy Composed of Ni<sub>3</sub>X-Type Structures, International Workshop on Designing of Interfacial Structures in Advanced Materials and their Joints (DIS'06) (Osaka, Japan, May 18-20, 2006)

[産業財産権]

○出願状況 (計7件)

- 1) 名称: Ni基2重複相金属間化合物合金にてなることを特徴とする摩擦攪拌加工用ツール, 発明者: 高杉隆幸、金野泰幸、平田智丈、望月昇、東健司, 権利者: 大阪産業振興機構, 大阪府, アイセル (株), 種類: 特許, 番号: 特願2008-85036, 出願月日: 2008年3月27日, 国内外の別: 国内
- 2) 名称: Ni基2重複相金属間化合物合金の表面処理方法, および, 表面処理したNi基2重複相金属間化合物合金, 発明者: 高杉隆幸、金野泰幸、田中信一、辻宣佳, 権利者: 大阪産業振興機構, (株)田中, 種類: 特許, 番号: 特願2008-37447, 出願月日: 2008年2月19日, 国内外の別: 国内
- 3) 名称: 高い硬度を有するNi基金属間化合物合金, 発明者: 高杉隆幸、金野泰幸, 権利者: 大阪産業振興機構, 種類: 特許, 番号: 特願特願2008-34960, 出願月日: 2008年2月15日, 国内外の別: 国内

- 4) 名称: 耐酸化性の優れたNi基化合物超合金及びその製造方法と耐熱構造材, 発明者: 筑後一義、高杉隆幸、金野泰幸, 権利者: 大阪府立大学, 石川島播磨重工業 (株), 種類: 特許, 番号: 特願2006-261569、PCT/JP2007/068720, 出願月日: 2006年9月26日, 国内外の別: 国内, 国外
- 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, 種類: 特許, 番号: 特願2006-79279、出願月日: 2006年3月22日, 国内外の別: 国内
- 6) 名称: 2重複相組織からなるV及び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: 特願2006-38307、PCT/JP2006/306027, 出願月日: 2006年2月15日, 国内外の別: 国内, 国外
- 7) 名称: 2重複相組織を有する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: 特願2006-21364、PCT/JP2006/323200, 出願月日: 2006年1月30日, 国内外の別: 国内, 国外

[その他]

ホームページ:

[http://www.eng.osakafu-u.ac.jp/Japanese/02senko/materi\\_group/group05.htm](http://www.eng.osakafu-u.ac.jp/Japanese/02senko/materi_group/group05.htm)

#### 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・助教  
研究者番号: 50214482

##### (3) 連携研究者

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