

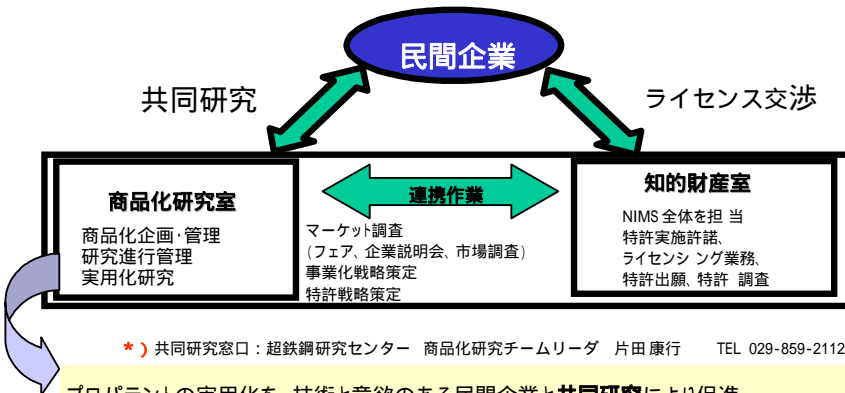
2-5. 独法成果活用プロジェクト

独法成果活用プロジェクト紹介

超鉄鋼プロジェクト(STX-21)は、第一期研究として1997年から5か年間実施され、引き続き2002年4月から第二期研究として継続しています。第一期研究では多くの特筆すべき成果が得られていますが、社会に役に立ちそうな新素材・新技術等については速やかに実用化を図り、社会還元を進めるべきという社会的要請に応える必要があります。そこで第二期研究の一環として、「独法成果活用プロジェクト」を新たに開始し、実用化を目指して必要な基礎研究・応用技術を産学連携して推進しています。このプロジェクトでは、2つの実用化前研究課題(超微細粒鋼製品、新溶接線材)と2つの調査研究(高窒素ステンレス製品、超微細粒非鉄製品)を設定・実行しています。さらにこのプロジェクトを効率的に促進するため、2002年8月より、企業と研究センターとのリエゾン機能として「**商品化研究チーム**」を新たに設置しました。

商品化研究チームの役割

商品化研究チームでは、知的財産室と密接な連携のもとに民間企業と実用化のための共同研究や特許戦略を積極的に進めています。



プロパテントの実用化を、技術と意欲のある民間企業と**共同研究**により促進。

必要な基礎研究・応用技術を産学連携して推進する**独法成果活用プロジェクト**の企画立案。

図1 商品化研究チームと知的財産室の連携による商品化推進

2-5. Transfer Project

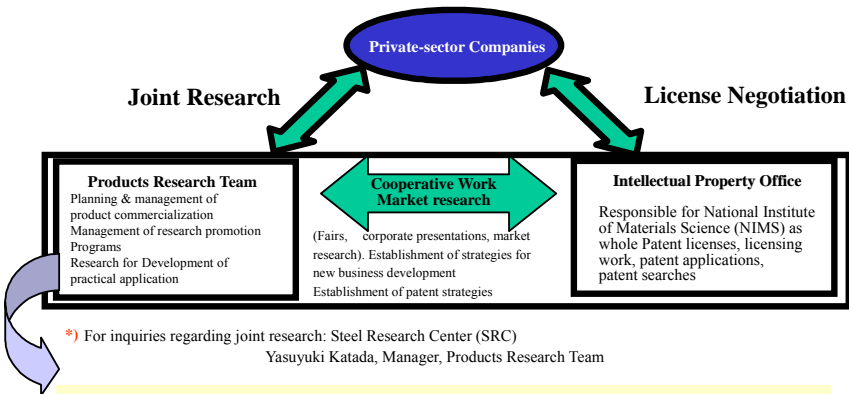
Introduction of the Transfer Project

Phase I research work in the Ultra Steel Project (STX-21) began in 1997 and extended over a period of five years. This was followed by Phase II, which began on April 2002. In spite of a number of noteworthy achievements in Phase I, society also expects some return on its investment in the project, for example, by early development of practical applications for new materials and new technologies which may be useful to society as whole. To respond to these requests, STX-21 launched a new initiative called the Transfer Project as a part of Phase II in order to encourage industry-university cooperation in necessary basic research and applied technologies with the aim of developing practical applications. The Transfer Project includes two pre-application research topics (ultra fine grained steel, new welding wire) and two investigative research topics (high nitrogen stainless steel, ultra fine grained nonferrous products), which are now being carried out.

To ensure efficient implementation of the Transfer Project, the **Products Research Team** was newly established in August 2002 to perform liaison functions with business and research centers.

Role of the Products Research Team

The Products Research Team, in close cooperation with the Technology Evolving Office, actively promotes joint research with private-sector companies with the aim of developing practical applications for materials and technologies developed in STX-21, and also assists companies with patent strategies.



Promotes development of practical applications for product patents through joint research with private-sector companies which possess both technologies and commitment. Development of plans under which the Transfer Project promotes necessary basic research and applied technologies through industry-university cooperation.

Fig. 1 Concept of product commercialization through cooperation between Products Research Team and Intellectual Property Office

2. コーディネート中のプロジェクト (4 Projects)

最近の当研究室の活動例としては、新聞でも紹介された諏訪地区の金属加工メーカーと超鉄鋼研究センターとの共同事業による「STX-21共同研究会」の取り組みがあります。同地区は世界の精密機械工業をリードしてきた技術家集団ですが、将来のさらなる国際競争力を確保するために、新素材、新技術としての超鉄鋼プロジェクトの成果である超微細粒鋼や高窒素ステンレス鋼に注目しました。商品化研究チームとしても共同研究体制のもと商品化を全面的に支援し、今後の幅広い活動の先例としたいと考えております。

表1 STX-21共同研究会の体制

会長：渡辺芳紀 (ヤマト)	
副会長：高木文人 (丸眞製作所)	
監事：植松正明 (スター精機)	
加工部会	用途開発部会
部会長：小松隆史 (小松精機工作所)	部会長：松澤正明 (松一)
支援組織	
長野県中小企業振興公社 長野県精密工業試験所 諏訪商工会議所	

STX-21共同研究会は、加工部会と用途開発部会から構成されている。

超鉄鋼商品化研究の例

(1) 超微細組織棒鋼

STX-21プロジェクト研究で開発された温間多方向加工によって、民間実機の溝ロール圧延設備を用いて、断面が18x18mmで長さが20mの棒鋼が製造可能となっている。また、その力学的性質は、図2に示すように引張強さが800MPaを越えており、同一組成で平均フェライト粒径が20 μ mのSM490鋼に比べ、2倍の強度を有している¹⁾。

2. コーディネート中のプロジェクト (4 Projects)

A recent example of the activities of the Products Research Team, which has also been reported in the news media, is the work of the STX-21 Society now being carried out by a joint business involving metal processing companies in the Suwa region of central Japan and the Steel Research Center (SRC). The Suwa region is the home of a group of technical experts and engineers who are among the world's leaders in the precision machinery industry. These same persons have shown a keen interest in ultra fine grained steel and high nitrogen steel, which were developed in the Ultra Steel Project, as important materials for ensuring even stronger international competitiveness in the future. The Products Research Team intends to give its full support to commercialization of related products, based on a joint research organization, as a precedent for wide-ranging activities in the future.

Table 1 Organization of STX-21 Society

Chairperson: Yoshinori Watanabe (Yamato Co., Ltd)	
Vice president: Fumito Takagi (Marushin Co.)	
Audit: Masaaki Uematsu (Star Seiki Co., Ltd)	
Processing committee	Use development committee
The head of processing committee Takafumi Komatsu (Komatsuseiki Kosakusho Co., Ltd)	The head of use development committee Masaaki Matsuzawa (Matsuichi Co., Ltd)
Supporting Organizations	
The Nagano small-and-medium-sized-enterprises promotion public corporation The Nagano precision-machinery-industry experiment station The Nagano Suwa local office Suwa City SHINHOUKOKU Steel The SUWA Chamber of Commerce & Industry Suwa industrial Messe 2004 executive committee	

- The STX-21 Society consists of a Processing Committee and Application Development Committee.

Examples of Research for Commercialization of Ultra Steel Products

(1) Ultra fine grained steel rods

Application of the warm, multidirectional processing method developed as a result of STX-21 Project research makes it possible to manufacture steel rods with a cross section of 18 x 18 mm and length of 20 m using the grooved-roll rolling mills which are available as existing equipment in the private sector. Among mechanical properties, these rods possess tensile strength exceeding 800MPa, as shown in Fig. 2, and have double the strength of SM490 steel with an average ferrite grain size of 20 μ m, with the same chemical composition. ¹⁾

1) 超微細組織小ネジ

ネジは、一般的には、鋼線材を素材として、これにヘッダ成形、切削あるいは転造を施して成形した後、焼入れおよび焼戻しの調質処理を施して製造されている。しかしながら、このネジの製造において、焼入れ焼戻しの調質処理は手間のかかる工程であり、調質処理を省く非調質での製造が可能となれば、生産性が向上し、工業的にきわめて有利となる。

最近になって、引張強度が800MPaまでのネジの製造においては、一部非調質による製造が可能となっている。この非調質による製造の場合には、原料である素材そのものの強度を高める必要があるために、素材にCr, Ti, Nb, B等の合金元素の添加が必要とされている。しかしながら、これらの合金元素の添加はネジに靱性の低下をもたらすなど、必ずしも好ましい手段ではなかった。

超微細組織鋼は、単純組成であるにもかかわらず、図2に示すように、高強度であり、同時に高靱性であるため、高強度ネジの素材として適していると考えられる。図3に超微細組織鋼を素材として作製したM1.6ネジの外観写真を示す。ヘッダ成形、転造によって作製した。これは、(株)降矢技研との共同開発のもと、作製されたものである。ネジの芯部硬さは、Hv=260あり、引張強度は800MPaである。超微細組織鋼はネジのみならず各種冷間圧造品への適用が可能と考えている。

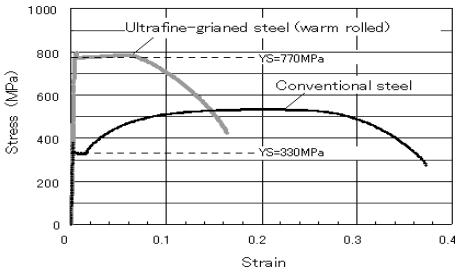


図2 超微細粒鋼(0.6 μ m)と普通鋼の応力ひずみ曲線 (10 μ m) [1].



図3 M1.6超鉄鋼ねじ

[1] A. Ohmori, S. Torizuka and K. Nagai, CAMP-ISIJ, 14(2001), pp.1050.

1) Ultra fine grained machine screw

Screws are generally manufactured from steel wire rod material by header forming and cutting or rolling as forming processes, followed by hardening and tempering as thermal refining (heat treatment) processes. However, one major drawback of this manufacturing method is the expensive, time-consuming hardening/tempering process. A technology which makes it possible to manufacture screws without heat treatment, thus eliminating these heat treatment processes, would increase productivity substantially, and would therefore be extremely advantageous from the industrial viewpoint.

Recently, it has become possible to manufacture some screws with tensile strengths up to 800MPa using as-rolled material, omitting the conventional heat treatment processes. In order to manufacture high strength screws with as-rolled material, it is necessary to increase the strength of the material itself, which means that alloying elements such as Cr, Ti, Nb, B, or others must be added to the material. However, this is not necessarily a desirable method, because these alloying elements reduce the toughness of the screw.

Ultra fine grained steel possesses high strength simultaneously with high toughness, as shown Fig. 2, in spite of the fact that it is a single-phase material. Thus, it is considered a suitable material for high strength screws. Fig. 3 shows a photograph of an M1.6 screw manufactured using ultra fine grained steel material. This screw was manufactured by header forming and rolling, and was produced based on joint development with Koya Giken Co., Ltd. The hardness of the screw core is Hv = 260, and its tensile strength is 800MPa.

It is also considered possible to apply ultra fine grained steel to various other cold rolled products, in addition to screws.

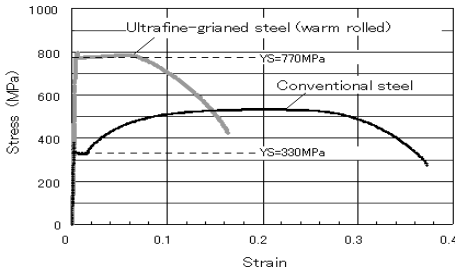


Fig. 2 Stress-strain curves of ultra fine grained steel (0.6 μ m) and carbon steel 10 μ m [1]



Fig. 3 Screw manufactured from ultra fine grained steel (M1.6)

[1] A. Ohmori, S. Torizuka and K. Nagai, CAMP-ISIJ, 14(2001), pp. 1050.

(2) 高窒素ステンレス鋼

1) 素材の開発

超鉄鋼プロジェクト研究(STX-21)の一環として「耐海水性ステンレス鋼の開発」が進められている。この新素材の開発指針としては、1重量%の窒素を添加するとともに、脱酸処理による素材の高清浄化を図ることにより、Cr、Ni、Moの合金元素を極端に増加させることなく耐食性を向上させて、スーパーステンレス鋼級の耐海水性省資源型ステンレス鋼の開発を目指している。窒素添加と素材の清浄化を同時に実現できる装置として、窒素ガス加圧式ESR (Electro-Slag Remelting) 装置を国内で初めて開発し、不純物混入の原因となるMnを添加しない高窒素添加ステンレス鋼 (HNS) の試験溶製に成功した。合金系としては、Fe-23%Cr-4%Ni-2%Mo系とし、できるだけ不純物元素を低減化するため酸素含有量を20ppm以下とした。この素材の耐食性については、図4に示すように、人工海水中ですき間腐食試験を行った結果、高窒素濃度の場合すき間腐食は全く発生しないことがわかった。さらに6ヶ月間に亘る実海水暴露試験の結果からも、この素材にはすき間腐食が認められなかったことから、本材料は塩化物溶液中で優れた耐食性を有することがわかった。図5は、溶体化処理された23%Cr系高窒素添加ステンレス鋼の伸びと引張強さを文献データと比較したものである。図より、オーステナイト単相のステンレス鋼の伸びはSUS304鋼とほぼ同等で、かつ引張強さは1000~1200MPa程度のものが得られており、これら高窒素鋼が耐食性のみならず強度の面からみても優れた材料であることがわかった。また本創製技術によりニッケルフリーステンレス鋼の創製も可能であることを実証した。

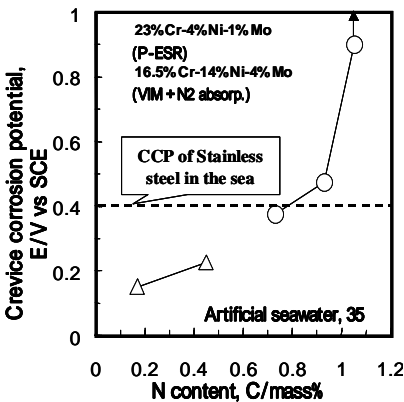


図4 HNSのすき間腐食特性

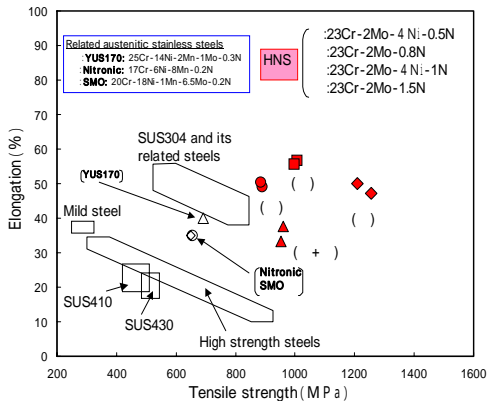


図5 HNSの機械的性質

(2) High nitrogen steel (HNS)

1) Material development

“Development of anti-sea water corrosion stainless steel” was adopted as one topic in the Ultra Steel Project (STX-21). The guiding principle for the development of this new material was to realize improved corrosion resistance without extreme increases in the alloying elements Cr, Ni, and Mo by 1wt% nitrogen enrichment, in combination with high purification of the material by deoxidation treatment, with the aim of developing a prototype super-stainless grade resource-saving type anti-sea water corrosion stainless steel. In this project, the first nitrogen gas pressurized ESR (electro-slag remelting) device in Japan was developed as equipment for simultaneously achieving nitrogen enrichment and high purification of the material, and was used successfully in test-melting high nitrogen steel (HNS) without added Mn, which is a cause of impurities. The alloy system was Fe-23%Cr-4%Ni-2%Mo, and the oxygen content was set at 20 ppm or less in order to reduce impurity elements as less as possible.

The corrosion resistance of the newly developed steel is shown in Fig. 4. The results of a crevice corrosion test in artificial seawater showed that absolutely no crevice corrosion occurs in materials with high nitrogen contents. Moreover, no crevice corrosion was observed in this steel in a field test conducted in the sea over a six month period, demonstrating that the steel possesses excellent corrosion resistance in chloride solutions.

Fig. 5 shows the elongation and tensile strength of 23%Cr high nitrogen steel with solution treatment, in comparison with data for conventional materials in the literature. From this figure, it can be understood that the elongation of austenite single-phase stainless steel is basically similar to that of SUS304, and materials with tensile strengths on the order of 1000-1200MPa can be obtained. Thus, these high nitrogen steels are outstanding materials not only in terms of corrosion resistance, but also in terms of strength.

In addition, this development work also demonstrated the possibility of creating nickel-free stainless steels using the newly developed manufacturing technology.

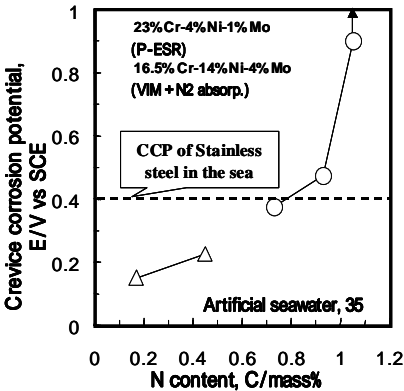


Fig. 4 Crevice corrosion resistance of HNS

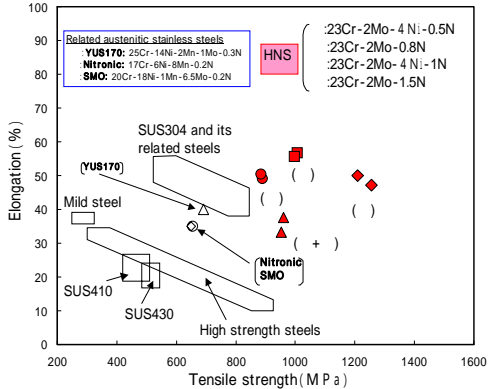


Fig. 5 Mechanical properties of HNS

2) 高窒素ステンレス鋼の期待される用途

本高窒素ステンレス鋼はニッケルを全く含まないステンレス鋼としても合金化が可能であるため、抗ニッケルアレルギー材として医療・生体用材料として期待されている。現在、海洋構造物、化学プラント、機械、輸送、生体等の広い分野で、高強度耐食部材としての適用可能性を検討している。



図6 ニッケルフリー高窒素鋼による人工関節用ステムの試作例

(3) 新溶接材料

1) 溶接材料の開発

一般に溶接部には引張残留応力が発生し、溶接継手の疲労強度が低下する。この問題をブレイクスルーするため、後熱処理(応力除去焼き鈍し)なしでも引張残留応力を除去できる溶接材料を開発し、継手の強度を確保し溶接構造物の安全性を高めることを目指す。

2) 低変態温度溶接ワイヤと溶接棒

室温付近でマルテンサイト変態膨張する低変態温度溶接材料は、溶接部の引張残留応力を低減や圧縮残留応力の誘起が可能となる。この特性を用いることにより継手の疲労強度向上が可能になった。(世界初、業界初)(図7)

溶接金属は1000MPaの高強度となるが、溶接割れを回避できる成分設計により予熱処理が不要である。今後、溶接材料の販売を予定している。(図8)

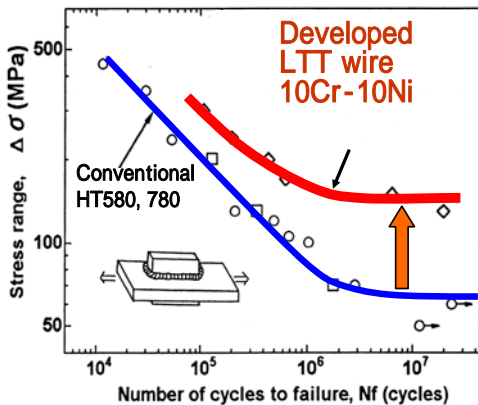


図7 新型溶接ワイヤによる疲労強度の向上

2) Expected applications of HNS

Because alloying as a 100% nickel-free stainless steel is also possible, these HNS are also expected to find use as anti-nickel allergy materials in medical and bio applications. At present, potential applications as a high strength, high corrosion resistance material are being studied in a wide range of fields, including off-shore structures, chemical plants, machinery and transportation equipment, bio applications, and others.



Fig. 6 Example of hip-joint stem made by Ni-free HNS

(3) New welding materials

1) Concept of new welding materials

Generally, tensile residual stress occurs at the weld joints using conventional welding materials. The fatigue strength of weld joints is reduced by this tensile residual stress. In order to improve fatigue strength of weld joints, new welding materials have been developed. These new welding materials can remove residual stress from weld joints without using conventional preheating procedure. High safety welding structures which have high strength are made using these materials.

2) Low Transformation-Temperature Welding Wire and Electrode

Low Transformation-Temperature Welding materials (LTTW) which can control the expansion of weld metal have been developed. The expansion by martensite transformation at room temperature decreases tensile residual stress and furthermore induces compressive residual stress into welds. As a result, fatigue strength of weld joints improved more than two times shown in Fig. 7.

The cold cracking does not occurs, although the strength of weld metal is higher than 1000MPa. The preheating procedure is not necessary. These welding materials shown in Fig. 8 are planning to sales.

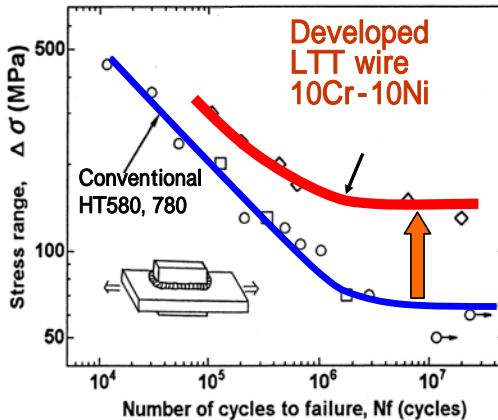


Fig. 7 Improvement of fatigue strength by LTTW



低変態温度溶接ワイヤ

補修用低変態温度溶接棒

図8 開発された新溶接ワイヤおよび溶接棒

3) 期待される今後の展開

建設機械の締結部位、橋梁の上部構造部などの新設計・補修・補強部位、さらに自動車足回り部位などへ広く適用し、高強度で安全な溶接構造技術を世界に先駆けて展開する。

(4) 超高力ボルトの創製

1) 素材の開発

遅れ破壊を克服した1800MPa超級高力ボルトの創製と超高力ボルト接合を用いた新鋼構造設計の提案を行う。(注:従来のボルト強度限界1100MPaを大幅に更新)

2) 高力ボルト

(1) リサイクル性を考慮した単純合金組成および単純熱処理のみで、耐水素脆化特性に優れた1800MPa級プロトタイプ鋼を開発した。(図9)

・0.6C-2Si-1Cr-1Mo鋼

・高温焼戻し、水素トラップ利用

(2) 頭部熱間鍛造、ネジ部冷間鍛造のプロセスによりプロトタイプ鋼のM22ボルトへの成形に成功した。(図10)

3) 期待される今後の展開

現場溶接の無い、工場溶接 + 現場ボルト接合の新鋼構造の実現に途を拓く。さらに2000MPa級の実現により設計思想の根本的転換をもたらし、我が国独自技術としての鋼構造モデルを世界に先駆けて構築する。

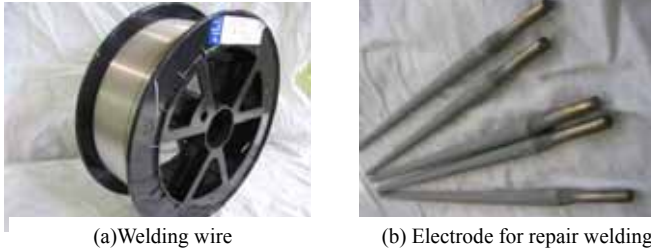


Fig. 8 Developed new welding materials

3) Future development of LTTW

We apply these welding materials to the welding of additional strength parts such as the automobile foot circumference part, bridges and the construction machine and repair welding. We develop the welding technology that is able to produce the safe welding structure that is obtained by a high strength joint.

(4) Creation of ultra high-strength steel bolt

1) Material development

This project aims to fabricate 1800 MPa plus class ultra high-strength steel bolts which overcome delayed fracture and to propose new design of steel constructions using ultra high-strength bolted joints.

(Note: The targeted strength level has been updated to a much higher strength limit than the 1100 MPa of conventional bolts.)

2) Ultra high-strength steel bolt

(1) 1800 MPa class prototype steel having high resistance to hydrogen embrittlement was developed by a simple alloy design for recyclability and a simple heat treatment that was of quenching and tempering (Fig. 9).

· 0.6C-2Si-1Cr-1Mo steel

· high temperature tempering and utilizing hydrogen trapping

(2) The prototype steel was successfully fabricated to M22 bolt by hot head forming and cold thread forming (Fig. 10).

3) The future of ultra high-strength steel bolt

We are trying a way of new steel constructions without site welding but with shop welding and site joining with ultra high-strength bolts.

Furthermore, the aim of our project is to raise fundamental conversion of philosophy of design through 2000 MPa class high strength steel bolts and build up a model of steel construction as our country's own technology being ahead of the world.

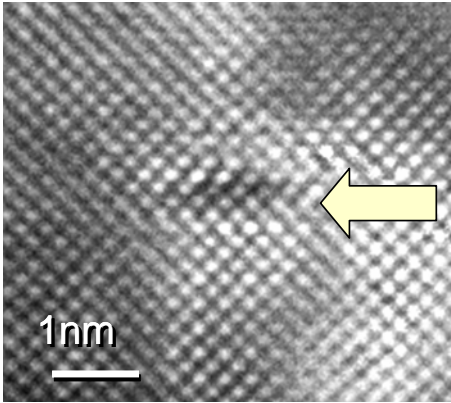


図9 ナノサイズ析出物による
遅れ破壊の克服
(1800MPa鋼)



図10 プロトタイプ鋼での高力ボルト
成形プロセス
(1800MPa鋼)
(1)ボルト素材
(2)頭部成形
(3)ネジ部成形

商品化研究の進め方

「使われてこそ材料」のスローガンのもとに、超鉄鋼の具体的な商品化を目指して、必要となる塑性加工性、破壊靱性、耐摩耗性、被削性、コスト等を対象に実用化前基礎研究を企業との共同研究を通して進める。また、超鉄鋼商品化に必要なものはこれらの検討課題のみならず、その用途開拓であろう。そのため新製品のマーケティング調査等を含めて知的財産室と連携して進める。

広報活動

本プロジェクトの背景やコンセプトを紹介したホームページを開設しています。
<http://www.nims.go.jp/trp/>

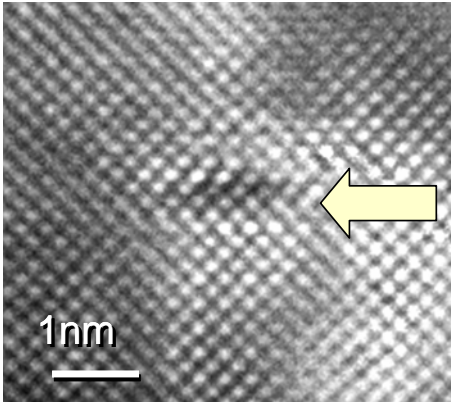


Fig.9 Overcoming of delayed fracture by nano-size precipitations (1800MPa steel)



Fig.10 Forming process of ultra-high strength steel bolts by prototype steel (1800MPa steel)

- (1) Material for bolt
- (2) Hot head forming
- (3) Cold thread forming

Method of Promoting Product Research

Based on the slogan “the meaning of a material is in its use,” pre-application basic research is being carried out on plastic workability, fracture toughness, wear resistance, machinability, cost, and other necessary properties through joint research with business, with the goal of commercializing actual ultra steel products. However, ultra steel products cannot be commercialized simply by investigating topics; product applications must also be developed. To this end, product research, including market research on new products, is being carried out in cooperation with the Intellectual Property Office.

Public Relations Activities

The National Institute of Materials Science has posted a home page which describes the background and concept of the Transfer Project.

<http://www.nims.go.jp/trp/>

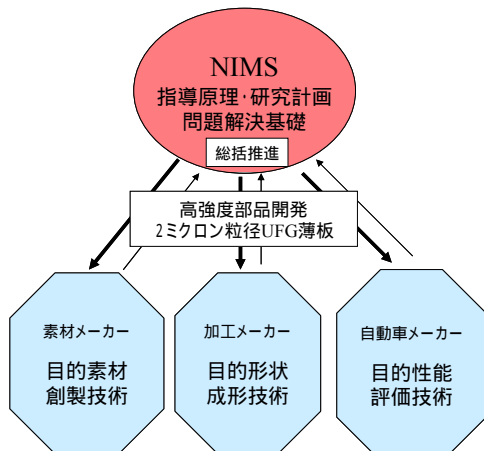
2-6. 振興調整費課題「超微細粒薄板の創製とその自動車への利用」

プロジェクト紹介

本課題は、平成14年度文部科学省科学技術振興調整費「産学官共同研究の効果的な推進」プログラム課題の一つとして採択され、平成14年8月から平成17年3月までの約3年間の予定で自動車用部品への超微細粒薄板の適用技術に関する研究を行います。公募要領に示されている本プログラムの目的は次の通りで、通称マッチングファンド研究と呼ばれています。『経済社会ニーズに対応した産学官の共同研究を効果的に推進するため、民間企業が自らの研究資金を活用し、大学、独立行政法人等の研究開発機関と共同研究を行う場合に、当該研究開発機関に対してその分担に応じた経費を助成する仕組みを導入し、大学、独立行政法人等の研究開発機関の研究シーズと民間企業の研究ニーズの積極的なマッチングを推進する。』

本課題「超微細粒薄板の創製とその自動車への利用」は、超鉄鋼研究プロジェクト第1期で得た技術シーズの実用化研究の一つと位置づけられており、NIMSと材料メーカー（中山製鋼所）、機械メーカー（川崎重工業）および自動車メーカー（本田技術研究所）の4者が共同して、超微細粒薄板（結晶粒径：2ミクロン、板厚：2mm以下）を自動車用高強度部品に適用するための研究体制をとっています。

希少な合金元素をなるべく使わずに結晶粒微細化で高強度を達成する超微細粒鋼は、リサイクル・環境問題を考えた場合に非常に魅力的な材料であり、自動車を含めた多くの分野で幅広く用いられることが期待されています。しかし、Dual Phase鋼やTRIP鋼など引張強さ800MPaを超える先進ハイテンが開発されつつある現状の中で超微細粒鋼が実用化されるためには、超微細粒鋼が、これら従来型ハイテンにはない、特有の魅力ある材質を兼ね備えている必要があります。微細粒鋼の優れた溶接性や高靱性はすでに良く知られています。本プロジェクトでは、成形性と高速変形特性に注目した研究を進めます。超微細粒鋼を実用化に確実に結びつけるためには、材料メーカー、機械メーカーさらにユーザーとの研究連携を最初から組み込んだ研究体制が必要です。本プロジェクトでは、上記3社との共同研究体制をとっていますが、目標達成には4者の有機的な連携こそが不可欠です。我々は、この取り組みが低環境負荷型材料である超微細粒鋼の需要拡大および超微細粒鋼研究のさらなる発展と新たな展開へとつながることを目指しています。



2-6. Special Coordination Funds for Promoting Science and Technology “Application Project of UFG Steel Sheet to Automobile”

Introduction

NIMS started the “Application of Ultra-Fine Grained Steel Sheet to Automobile” project in August 2002. This project was selected as one of the research projects which entitled “Effective Promotion of Joint Research with Industry, Academia, and Government” supported by the “Special Coordination Funds for Promoting Science and Technology” of the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology. During three research years till March 2005, three private companies of steel maker (Nakayama Steel Works, LTD), heavy industry (Kawasaki Heavy Industries, LTD), and car maker (Honda R&D Co., LTD) will collaborate with NIMS for the aim of developing high-strength steel parts.

UFG steel is a high-strength material, which does not contain precious alloying elements but is strengthened by microstructure control; grain refinement. From the viewpoint of recycling and environmental issues, UFG steel is thus fascinating and its application to practical parts is anticipated in various fields including automobiles. However, high-strength steel sheets with strength levels over 800MPa, such as Dual Phase steel and TRIP steel, have been intensively investigated for automobiles. One of important issues for practical application of UFG steel is thus to find and make clear more merits that are superior to Dual Phase steel and TRIP steel. Weldability and toughness of UFG steel have been well investigated and good properties of them are widely accepted. In this application project, particular attention will be paid on formability and high-speed deformation properties. Another important issue is collaboration of private companies in automotive industry. Joint research with three private companies described above is the key of this application project.

Fundamental results and various seeds for UFG steel have been attained in the first period of the Ultra Steel Project (STX-21; 1997-2002). With these results and seeds, we aim to fabricate UFG steel sheet with 2 μ m grain size and apply it to automotive parts. We hope that our research works result in increasing demand of UFG steels and further evolution of basic research for UFG materials.

