総合科学技術会議
第5回温暖化対策技術プロジェクトチーム会合

資料　1

温暖化対策に資する
ナノテクノロジー・材料技術

1．温暖化対策の取り組みの現状　2～3
2．ナノテク･材料が切り拓くCO_2削減技術　4－10
3．ナノテク･材料技術による温暖化対策の貢献　11－15

平成15年1月29日

独立行政法人　物質･材料研究機構（NIMS）
岸　輝雄

温暖化対策の考え方

○ 短期的に実行可能な対策を最大限推進
○ 中長期的な視野の下、対策技術の開発を推進

中長期的視点かつ地球規模での検討

○ 国際的連携の確保

技術的なブレークスルー

柔軟性かつ実効性のある取り組み

政府・国民・産業が一体となった取り組み

○ ステップ・バイ・ステップの取り組み

革新的温暖化対策技術の現状

分　野	2010年までに実証が期待されているもの	将来の実現が期待されるもの (ナノテクノロジー関連)	
新エネルギー	太陽電池 廃プラ原料固形化燃料 バイオマス燃料転換 水素製造触媒 水素吸蔵材料	色素増感太陽電池 熱電変換素子発電 固体電解質燃料電池 固体高分子燃料電池	人工光合成(光触媒) 炭素系水素吸蔵材 ナノ分散電極 超イオン導体 ナノ構造熱物質
エネルギー技術	超耐熱合金ガスタービン セラミックガスタービン 低損失トランス材 低損失磁性材料	超伝導発電機 超伝導送電ケーブル 大容量リチウム二次電池	低損失パワーデバイス
運輸・民生	軽量化(アルミニウム) 軽量化(FRP) 軽量化(中空部材化) 冷熱変換素子	軽量化(マグネシウム) 超軽量構造材料	高強度ナノコンポジット 高機能ナノコンポジット
産業	CO_2削減製鉄 再生アルミ高品位精製加工 新規触媒利用化学プロセス 超臨界利用化学プロセス バイオ利用化学プロセス SF_6代替洗浄プロセス	固相リサイクル 植物起源工業原料 産業間資源融合	ナノバイオリアクタ
CO_2固定化		CO_2の膜分離 CO_2のハイグレード化 CO_2の液体燃料化	メンブレンリアクター バイオリアクター

ナノテクノロジー・材料技術から見た温暖化対策の中長期的な視点

1．脱CO_2システムのための材料技術

～ 出さないものに取り替える ～

- 半導体エネルギー変換素子：太陽電池、熱電素子
- 化学ポテンシャル変換材料：Li電池、Ni水素電池
- エネルギー転換材料：燃料電池、水素発生光触媒

温暖化対策に貢献

2．対CO_2効率改善のための材料技術

～ 使用時に出すものを減らす ～

- 軽負荷構造材料：高比強度材料、ナノ複合材料
- 低損失物質：超伝導材料、パワーデバイス
- 高動力材料：耐熱材料、高温腐食材料

3．製造技術転換による材料の高機能化

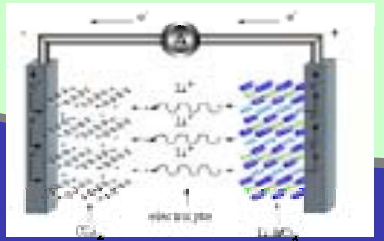
～ 製造時に出すものを減らす ～

- 循環型対応材料：リサイクル鉄の高機能化
- 革新的製造プロセス：常温常圧反応、CO_2固定化反応

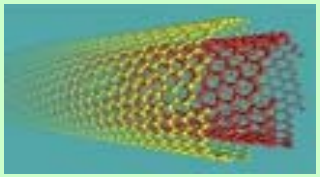
ナノテクノロジーが切り拓くCO_2削減技術

固体エネルギーデバイス

超イオン伝導体
プロトン伝導体



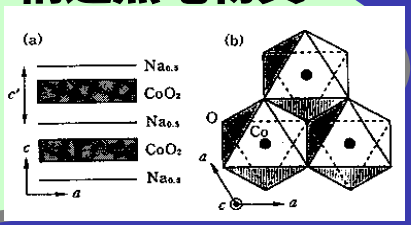
原子レベルでの協調効果を利用
・固体中での高速移動
・高速の電気伝導の実現



ナノ分散電極

カーボンナノチューブ、ナノホーン等
・大きな表面積(1,000㎡/g)
・超微細触媒の分散
・高い電流密度の実現

ナノ構造熱電物質



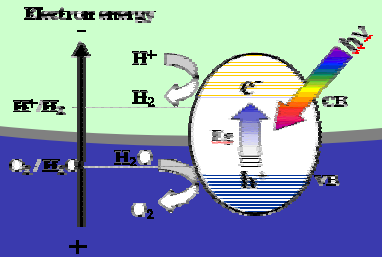
原子層間構造制御(インターカレーション)
・重い粒子系利用等電子とフォノンの個別制御で高導電率σ、高熱起電力α、低熱伝導率κの矛盾突破

ソフト化学素子

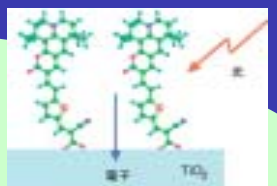
ナノバイオリアクタ

常温・常圧、
低エネルギー消費
触媒＋バイオ反応
バイオマスエネルギー利用

水素発生光触媒



・可視光領域での水素合成
・人工光合成



光増感太陽電池

ナノ空間レベルの分子デザインで吸収帯制御
・光を電子に転換
・低コスト太陽電池

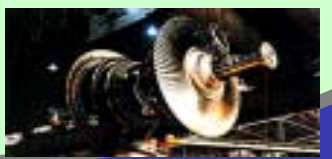
ナノ構造高機能部材

ナノ・コンポジット

有機、無機のナノオーダーでの複合ミクロ空間での複合構造
・有機の軽さ、無機の強さ
・超軽量、高強度材料

ナノ組織制御材料

倍以上の高強度と伸びを兼ね備えた材料
・高性能永久磁石
・高温でも十分な強度を持つ軽量、高強度バルク金属材料



【ナノテクが切り拓く温暖化対策例１】

カーボンナノチューブ、フラーレンに係る研究開発

CO_2を発生させないｴﾈﾙｷﾞｰへ貢献

水素吸蔵材料
軽量で高水素貯蔵
燃料電池自動車の
水素貯蔵

高容量二次電池
ナノチューブ中空部分に
リチウムイオンを取り込み
高容量、高強度の負極材

高分散触媒電極
高表面積に
触媒のナノ分散
燃料電池反応の促進

フラーレン
カーボンナノチューブ

省ｴﾈﾙｷﾞｰシステムへの貢献

高性能電子源
高導電性、高電流密度
ディスプレイの電子銃
光源の省電力化

高容量キャパシタ
高表面積、高導電性
静電容量の高容量化
高容量･低損失チップ

ナノ･コンポジット
鉄の6倍の強度
軽量、プラスチックとの馴染み
超軽量構造材料

従来の材料物性の限界を超えた画期的な転換が期待できる

【ナノテクが切り拓く温暖化対策例２】

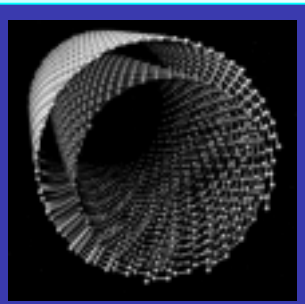
水素・燃料電池用材料の研究開発

革新的高エネルギー変換効率を持つ小型発電システム開発に資する材料研究　～大幅なCO_2削減を目指して～

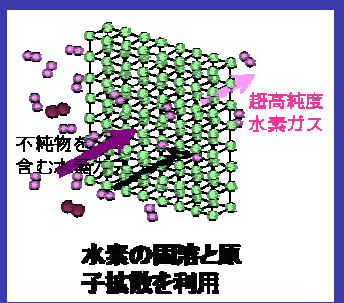
多面的な取り組み

- 水素製造用触媒
- 水素精製、貯蔵用材料
- 燃料電池用固体電解質材料

これまでの成果

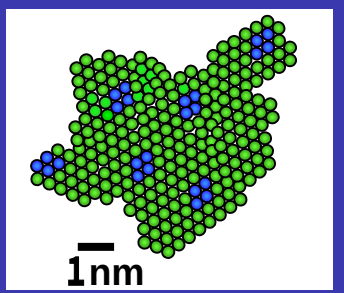


・カーボンナノチューブを電極に応用



水素の固溶と原子拡散を利用

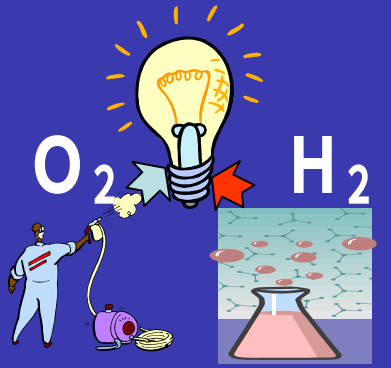
・V合金系高性能水素分離膜の開発
・カーボンナノチューブ水素貯蔵

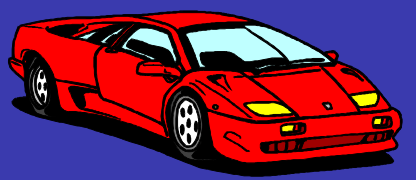


・ナノ組織制御によるセラミックス系高性能固体電解質の開発

高性能燃料電池の開発・普及

超小型燃料電池





携帯電子機器、自動車、その他
新規市場拡大にも資する材料研究

【ナノテクが切り拓く温暖化対策例３】

半導体光触媒を用いた人工光合成の研究開発

水素燃料のクリーンで低コストな製造技術の確立

次世代のクリーンエネルギーとして期待される水素

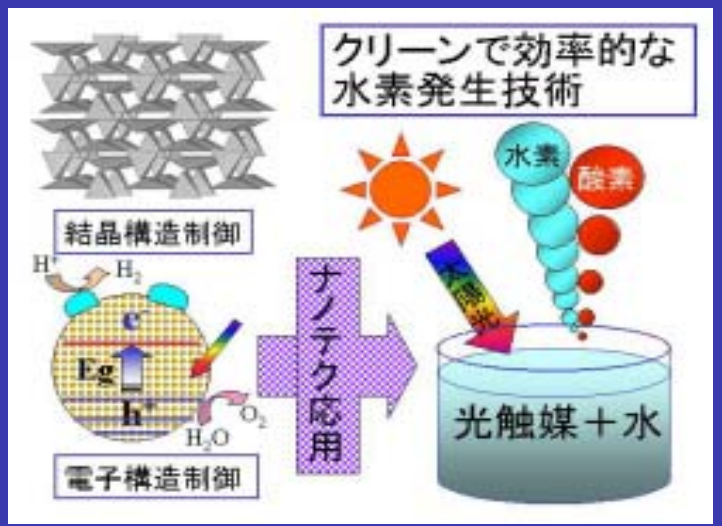
水素の製造技術がキーポイント

【これまでの成果】

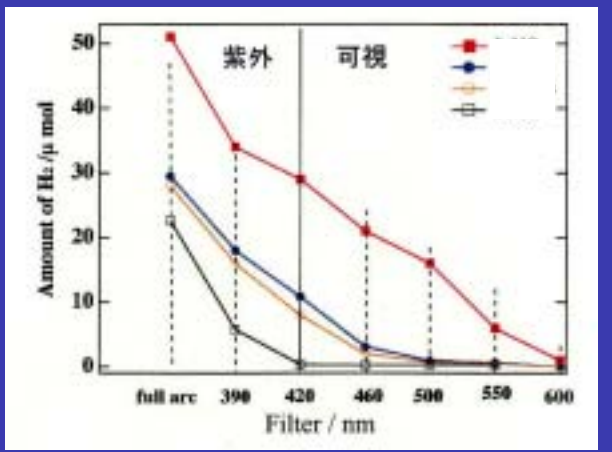
- 可視光応答型水分解光触媒を開発(Nature, 2001)
- 利用可能な太陽光波長範囲を大幅拡大
  従来の紫外線領域　＜400nm

TiO_2等光触媒の活用に注目

- 表面ナノ構造制御による電荷分離促進と高効率化
- 太陽光＋水＋光触媒で高効率的な水素製造



光触媒の表面ナノ構造



各種光触媒による水素発生

★温暖化抑制効果★

水素による化石燃料の逐次代替でCO_2の排出量を削減
水素社会の本格到来で温暖化問題を根本解決

【ナノテクが切り拓く温暖化対策例４】

ワイドバンドギャップ・パワー素子の研究開発

電力損失が少なく、小型（高温動作）かつ高速制御可能な電力変換

インバータ制御に不可欠

シリコン半導体の物性値からくる限界に接近　(5-15％の熱損失)

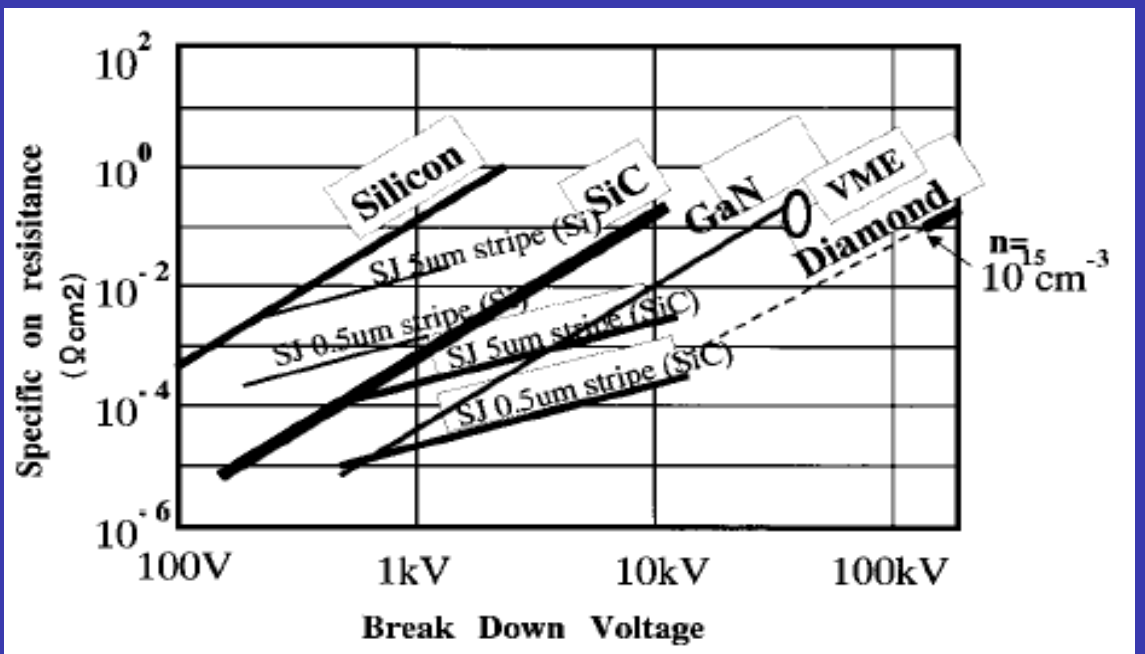
ワイド・バンド・ギャップ半導体:

シリコンカーバイド（SiC）、窒化ガリウム（GaN）、ダイヤモンド等

エネルギーギャップ　Siの約3倍、
絶縁破壊電界強度　約10倍、
飽和電子速度　約2倍、
熱伝導度　約3倍

ナノテクノロジーによる 構造制御で
PN接合、MOS構造、
絶縁層形成、電極接合
の実現

熱損失の1/100減、
耐圧上昇



インバータ:　電力のオンオフ制御でこれまでもエアコン、冷蔵庫等の大幅省エネに貢献

【ナノテクが切り拓く温暖化対策例５】

ナノ制御軽量高機能材料の研究開発

多様な用途への軽量高機能材料の普及による温暖化対策への貢献

分散型ナノコンポジット

- 金属ナノ粒子分散高機能コンポジット
  → 導電性、磁性など軽量可塑性素材の用途拡大
- カーボンナノチューブ分散コンポジット
  → 飛躍的高強度化、電気特性の向上

インターカレーション型ナノコンポジット

- 天然素材（クレイ、ゼオライト等）との複合
  → 新機能の獲得、小型低エネルギー機能素子

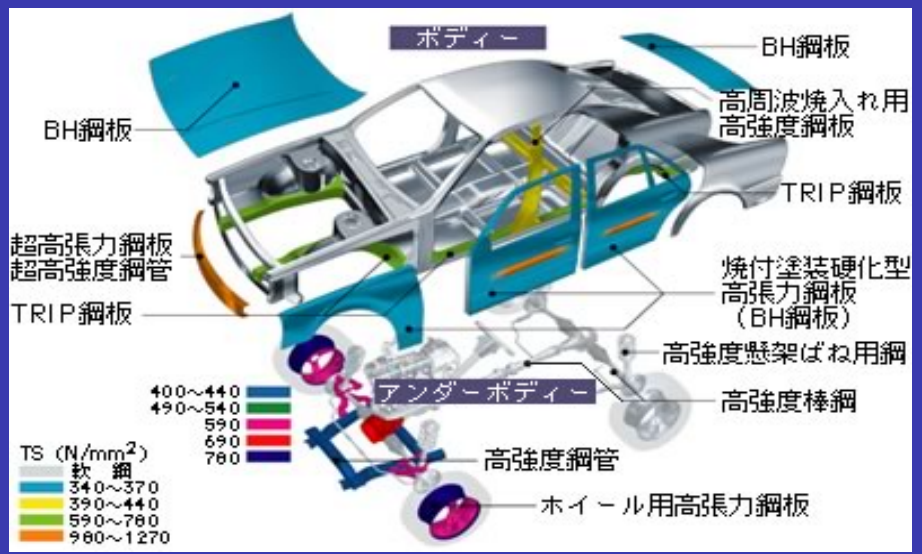
分子構造制御高性能ポリマー

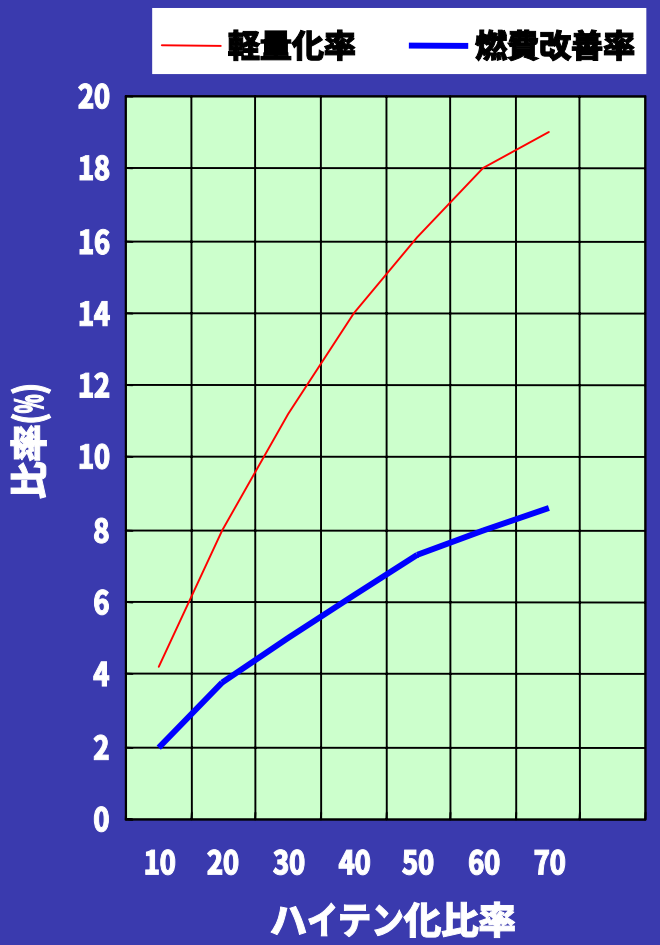
- 超高分子ポリマー
  → 長寿命、耐熱性
- ナノポリマーアロイ
  → 高機械的特性、長寿命

高機能化素材によるCO_2削減の実際例

高強度鋼板(ハイテン)の普及による自動車CO_2の削減

- 高強度鋼板の採用(1995年で32%)
- 鋼材削減効果　113.万トンCO2
- 燃料削減効果　485万トンCO2/年
  製造時の増エネ　340TJ=2.7万tCO2
  計　596万tCO2
  (わが国年間排出の約0.6%削減)





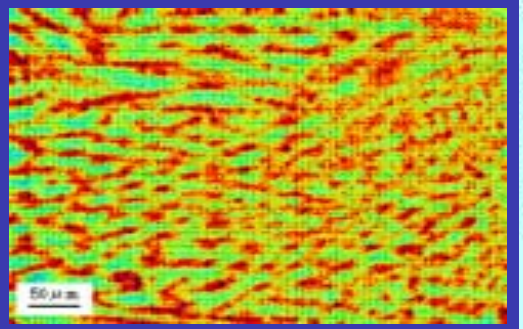
【CO_2削減例１】

低環境負荷技術による新構造材料（超鉄鋼）

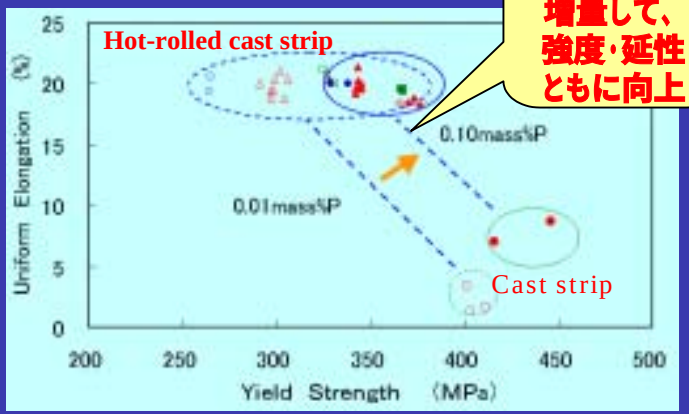
リサイクル鉄を高機能化する技術

不純物を積極的に利用し、リサイクル鉄の性能を飛躍的に向上

従来プロセス→*急冷凝固*へ



不純物（P）を微細分散し、無害化



不純物（P）を増量して、強度・延性ともに向上

自動車用普通鋼をスクラップ原料に転換

↓

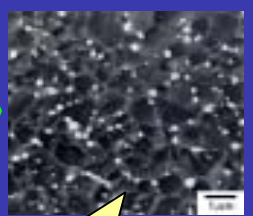
資源節約による約４５０万トンのCO_2削減効果

現状成分で高機能化する技術

リサイクル性の高い単純組成鋼を微細組織制御して、強度２倍x寿命２倍を達成

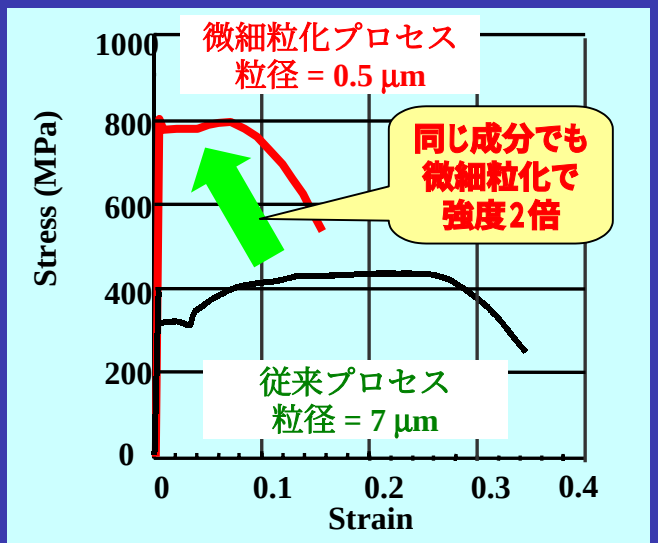
従来プロセス→*微細粒化プロセス*へ

従来鋼：軟鋼 ２０ミクロン



超鉄鋼：0.5ミクロン

リサイクル容易成分：
Fe-0.15%C-0.2%Si-1.5%Mn



自動車用特殊鋼を強度２倍鋼に転換

↓

軽量化、燃費向上で約６５０万トンのCO_2削減効果

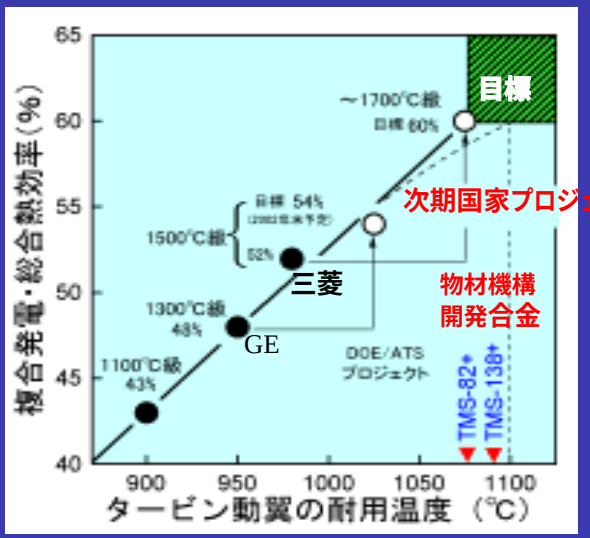
【CO_2削減例２】

新耐熱合金を用いた次世代ガスタービン開発

社会情勢

- エネルギー起源の排出CO_2削減が急務
- 火力発電も天然ガス化と高効率化によりCO_2削減効果
  熱効率４０％の石炭火力を、熱効率６０％の天然ガス複合発電で代替。
  １基当たり国内総排出の約０．４％削減。

→ ***高温燃焼に耐える新耐熱合金・部材が実現の鍵***



材料耐用温度と複合発電効率の関係

現在の取り組み例

新世紀耐熱材料プロジェクト（物材機構　1999-2003年度）

・世界最高耐用温度のNi基単結晶超合金を開発（耐用温度1075－1100℃）

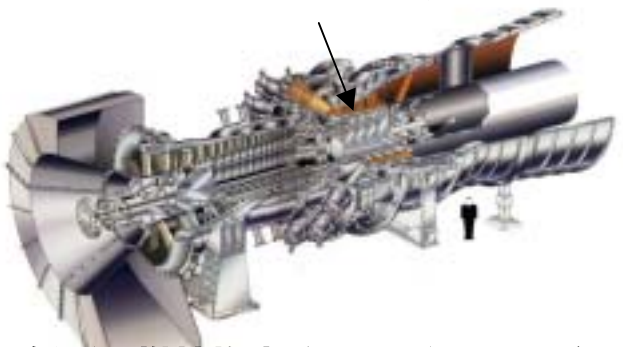
（この他、セラミックス材料も研究開発中。）

タービン静翼　タービン動翼

今後の取り組み

エネルギー起源CO_2削減のための超耐熱材料イニシアティブ
（「ナノテクノロジー・材料」産業発掘戦略の具体化）

→ **天然ガス燃焼複合発電用次世代ガスタービン開発**
- 熱効率の向上　５２%→６０%



天然ガス燃焼複合発電用ガスタービン

材料開発及び実機タービンの開発はリスク大
→ 国の支援の下、高効率ガスタービン技術の信頼性の確立を目指したCO_2削減技術実証を図る

【CO_2削減例３】

Ni_3Alハニカム構造体の研究開発

自動車、燃料電池等における排ガス浄化、CO_2削減

自動車排ガス浄化
触媒担体

高温マイクロ化学
リアクター材料

【これまでの研究成果】

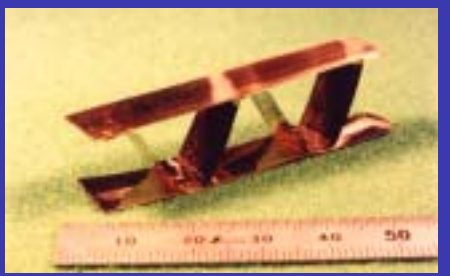
- 冷間圧延による箔作成
- ハニカム構造体化

材料の研究課題

耐熱性金属間化合物Ni_3Al
ハニカム構造体の開発

○耐用温度の向上
600℃ → 700～1100℃

厚さ23　のNi_3Al冷間圧延箔
(圧延率99%)



YAGレーザーによる
ハニカム構造体作製

Ni_3Alの特徴

- 高い高温強度
- 優れた耐酸化性、耐食性

☆CO_2*削減効果*

自動車、燃料電池に適用することによりCO_2*の削減*が見込まれる。

【CO_2削減例４】

革新的製造プロセスの研究開発

メンブラン・リアクター

分子識別機能等
を生かした
高選択物質変換

酵素反応への接近

酵素反応等
バイオ反応の組込
脱熱活性反応

CO_2固定化反応

バイオリアクター、
ナノポア構造利用

脱CO_2・省エネルギー型ものづくり技術への転換

産業全体でのカーボン・ニュートラル

常温常圧反応

高機能触媒による
高効率
常温常圧反応

産業間の資源融合利用

C1化学源

再生可能バイオマス

有機・複合素材

使用済み素材

カーボン源
熱源

脱CO_2型リサイクル技術

固体リサイクル、
脱化石燃料、
ソフトメタラジー

金属・無機素材