

<概要>

核燃料サイクル技術では、原子力エネルギーの長期的な安定供給と核物質防護の双方を目的として、軽水炉並の発電効率と共に、半減期の長いマイナーアクチノイド（MA）の効率的燃焼と、 ^{238}U からのPuの増殖比を1.1以上が確保出来る高速炉リサイクルが必要となる。高速炉としては液体金属Na冷却高速増殖炉が、またMOX燃料の再処理には先進湿式再処理法が選定されている。再処理では、核拡散防止、再処理コストの低減および半減期の長いMAの廃棄物への移行の低減等を念頭に、Np等のMAを含有した低除染で低廉なMOX燃料の製造技術と放射性廃棄物へのTRUやFPの移行を低減させる群分離技術が重要となる。その技術開発には、耐硝酸性に優れた材料技術が必要であり、本稿は現行機器の耐久性や安全性の改善に関わる技術的課題と新材料開発の動向を纏めた。

<更新年月>

2010年10月

<本文>

1. 湿式再処理の高度化に必要な機器材料の高性能化

現行の商業再処理に至る迄の湿式再処理用の材料技術の変遷は、原子力百科事典ATOMICAの「湿式再処理プロセス用材料」<04-07-01-11>に詳述されている。ピュレックス法の原理に基づく湿式再処理は、英国のTHORPや仏国のUP-2、UP-3等の現行の商業再処理施設、国内では東海再処理施設や六ヶ所再処理施設に適用されている（文献1、2）（図1）。現行では高い除染係数DFでUやPuを別々に分離しているが、将来の高速炉用の低除染MOX燃料用の先進再処理ではDFの低い合理化プロセスが採用される。再処理機器の高経年化に係わる腐食は、沸騰伝熱条件および、使用済燃料の燃焼度と共に硝酸溶液中に増大するTRUやFPの酸化剤生成元素の濃度に依存するので、高燃焼度のUO₂燃料やMOX燃料では使用済燃料の難溶化や残渣の増大への対応策が重要となる（文献3）（図2、図3）。DFの低い合理化プロセスでのTRUの移行の重要度は、現行機器の硝酸廃液工程よりも燃料精製工程の機器の方が高い（文献4）。また、原子力施設では、日本固有の立地条件を考慮した原子力機器の耐震基準の見直しが平成18年11月に施行され、その後の平成19年7月に発電施設で直下型地震が経験された（文献5）。その改訂では、適切な地震力の評価に基づく耐震設計と過渡事象を想定した残余リスクの評価と共に、機器材料に対するLBB（破断前漏えい）の要求が一層明確にされた。湿式再処理機器は、高温高圧の原子炉機器よりも内在エネルギーが小さな常圧や低圧の運転機器で、負圧制御のセル内に設置されており、安全上のリスクが低い（文献2）。一方、複雑な支持構造の槽塔類が多く、硝酸系と加熱蒸気系の多数の配管が接合されており、閉じ込め機能の一層の確保には、局部腐食や環境誘起割れ等の経年劣化型事象が生じ難く、LBB上の機械的特性に優れた高性能材料が必要となる。

2. 湿式再処理機器の健全性の確保と材料対策

TRUやFPを多量に含む硝酸溶液を扱う主要機器には、漏えい、発火・爆発や臨界等に対する閉じ込め機能が要求される（文献6）。それは、形状管理による臨界防止、負圧制御の建家やセルによる多重防護、および漏えい検知器等による監視や定期検査等により担保されている。漏えい防止策では、ステンレス鋼（SUS）の場合、高酸化電位では酸化膜の保護性低下に伴う粒界腐食優先型の減肉として沸騰伝熱部の減肉、鍛造材加工方向のトンネル腐食、溶接継手の裏波腐食等が経験されており、粒界腐食の抑制鋼が必要となる（文献7、8、9）（図4左図）。ジルコニウム（Zr）やチタン（Ti）系合金は、摺動部の腐食減肉が生じ易く、構造上の防食対策が重要となる

(図4右図)。また、発火・爆発の防止策では、有機溶媒、NO_xガス等が関わる**レッドオイル**爆発の抑制対策として濃縮缶や蒸発缶の加熱蒸気の上限温度を135℃以下に規定しているほか、硝酸環境と機器材料の界面反応に係わるNO_x割れの抑制が重要となる。NO_x割れは、化学的に活性なZrやTiで感受性が高く(文献10、11)、硝酸製造設備の発煙硝酸系では水の蒸気圧が低下し相対的に20%近いN₂O₄会合ガスが局所的に凝縮する60℃程度の低温域で経験されている。共沸点濃度以下の硝酸を扱う再処理機器ではNO_x生成量が低い、触媒効果を持つ金属元素を含む硝酸プロセス系でN₂O₄黄色ガスを観察した低温の発火・爆発の事例もあり、NO_xの局所的濃縮の防止の機器対策と共にNO_x割れや**応力腐食割れ**の抵抗性に一層優れた耐食金属が必要となる(文献12)。臨界防止策では、形状管理上、機械的強度が高く変形し難く且つ腐食減肉が小さい材料が有用となる。再処理機器の**照射効果**では、**高速中性子**による**照射損傷**を受けないが、高濃度の**放射性核種**により、硝酸溶液側と加熱蒸気側の双方の材料界面が放射線作用を受ける。前者では、硝酸溶液中では酸化剤が生成するので、隙間以外の自由表面の腐食に及ぼす放射線作用の重要度が低い。一方、加熱蒸気／冷却水側は、透過放射線による水-材料界面の低速電子励起効果により生成する酸化剤や水素による環境誘起割れの促進効果があり(文献13、14)、応力腐食割れや水素誘起割れの抵抗性に優れた耐食材料の適用が重要となる。

湿式再処理機器の**保守管理**では、腐食と共に、硝酸中の溶出物の析出・沈着による計装や配管系の閉塞および伝熱部材の伝熱阻害が重要となる(文献3)。それには、Moや白金族金属等のFPやTRU、Gd等の中性子毒物元素、および機器材料からの溶出元素に係わり、使用済燃料の燃焼度に依存した低減策が必要となる。その抑制には、FP等の溶解度の高い混酸系の適用と材料の耐食性改善が有効である。米国等が選定した難溶性MOX燃料用にフッ素-硝酸の混酸溶液系の適用では、新耐食合金開発が必要となる。チタンは、TiO₂の化学的安定性が高いが硝酸中の溶解度も比較的高く、材料自身の質量移行の抑制が重要となる。

3. 湿式再処理の使用機器環境に対応した材料技術の高度化

再処理機器への材料の適用性は、硝酸濃度、内容物、運転条件に依存する。ここでは、硝酸環境の酸化力を3段階に区分けし、各適用材料の開発状況を概観した。

3.1 低酸化性の低温機器用材料(SUS)

商用再処理機器には、軽水炉用の低炭素L鋼よりも鋭敏化を抑制した極低炭素ULC鋼が適用され、その後、不純物低減や鍛造材の加工フロー除去用のESR溶製法を含めて耐食性を改善した現行R仕様のR-SUS304ULC等が選定され、溶接施工技術が基準化された(文献15、16)。SUSは、BNFL仕様の減圧蒸発缶や貯槽および配管等に適用されている(文献17)。しかし、それらの低温運転機器でも、沸騰伝熱面での金属表面温度や沸騰伝熱に依存した内容物からのNpO₂²⁺等の酸化剤生成、放射性核種の凝集による局所的発熱、供給液に残存する酸化剤等により、粒界腐食支配の時間漸増型減肉が促進される(図5)。その抑制には、粒界腐食を促進する不純物の粒界偏析の十分な抑制が不可欠となる(文献19、20)。それには、超高純度溶製法と加工熱処理による金属組織調整法がある(文献21)。前者では、B、C、N、O、H等の格子間侵入型元素、P、S、Siや酸化剤生成元素のMn等の他に、現行の真空二重溶解(VAR+VIM又はESR)で除去し難い揮発性不純物の除去と、凝固時のセラミックス製坩堝からのアルカリ系金属やCl等のハロゲンの汚染防止が重要となる。国のJST事業では、上記の超高純度EHP仕様鋼(オーステナイト系超高純度仕様合金)の溶製法として、低廉原料中の非揮発性元素を磁気浮上型真空誘導溶解炉(CCIM-CaF)の還元精錬で、揮発性元素をコールドハース使用の電子ビーム(EB)炉で除去する複合溶製法が開発されている(文献21)(図6)。その手段では、水冷銅を用いた連続凝固法により、坩堝からの汚染や凝固偏析が無く清浄度や歩留まりに優れたEHP仕様の大型中間製品が溶製できる(図7)。また、加工熱処理では、歪時効と中高温再結晶等を組み合わせたSAR処理により残留不純物の結晶粒内への固定化と、微細粒化により機械的強化と活性点分散を図る手法が最も優れている。

再処理機器用SUSでは、母材と共に、溶接継手の施工性能と耐食性の確保が重要となる。再処理硝酸環境は、Crの防食効果が有効な酸化電位域にあり、¹⁸Cr-⁸NiのSUS304系よりも²⁵Cr-²⁰NiのSUS310系の方の適用性が優れている。後者は、安定オーステナイト鋼特有の溶接割れ感受性が高く、その抑制用に高Mn鋼の溶接材料を適用すると、耐硝酸性が大きく低下する。SUSの溶接施工性能にはPやS等の不純物が大きく係わっており、それを大幅に低減したEHP鋼では、共材TIG溶接でも凝固割れが生じず溶接割れ抵抗性と耐食性が確保できるようになった(図8)。安定オーステナイト鋼はSAR加工熱処理の適用性も高く、十分な粒界腐食の抑制効果が得られ、再処理機器へのSUSの適用性が拡大できる。EHP-SAR仕様のSUSは、過不動態相当の浸漬試験(Coriou試験)や沸騰伝熱面試験でも粒界腐食が生じず、腐食減肉を現行R-SUSの数分の1以下に低減出来る。耐粒界腐食性は、GD-MS等の機器分析による数十以上の不純物の残留量と粒界腐食抵抗性の相関性により評価されるが、実用的にはCoriou試験による粒界腐食の発生の有無が簡便な評価手

段である。

3.2 中酸化性の伝熱機器用材料（高Si系合金）

過不働態腐食の抑制型SUSは、SUS731鋼をベースに仏国や日本で開発され、発煙硝酸製造設備にはSNシリーズの高Si系ステンレス鋼が供用されている（文献21）。しかし、再処理硝酸系では、酸化剤と触媒作用を持つ白金元素等が共存しており、陽極・陰極反応が複雑し易く、Si主体の保護膜生成の阻害により逆に耐食性が低下する。その防止材には、Siと共に酸化膜生成電位域の異なるCr、Wを複合添加したRW合金（Ni-³⁰Cr-¹⁰W-³Si）がある（文献19、20）（図5）。これは、沸騰伝熱面でも浸漬と同様の耐食性を保持する。その溶製には、高Si系合金特有の共晶点低下による凝固割れやシリサイド生成による高温割れを抑制するために、前述の超高純度EHP溶製法の適用が不可欠であり、成形加工性や破壊靱性を含む機械的特性に優れた実用合金の溶製法が確立されている。溶接施工には、熱影響の少ない施工法の適用が必要であり、動的拡散接合によるステンレス鋼製伝熱部材への被覆法も適用できる。

3.3 強酸化性の常圧機器用材料

現行の常圧機器には、過不働態腐食が生じないZrおよびTi系の耐食金属が適用されている。Zrでは、高酸化電位の共沸点濃度側で厚く脆い酸化膜が成長する脱不働化が起こるので、それに起因したSCCやNOx割れの抑制が重要となる（文献12、22）。Ti系合金では、硝酸中の溶解度が大きく、気-液界面近傍での凝縮流動硝酸腐食、蒸気圧の高いMO₃の生成による気相への逃散および高酸化電位域での孔食の抑制が重要となる。高酸化電位の耐食性は、保護性に優れた高次酸化膜の形成能に依存し、MO₂膜形成型のZrやTiよりもM₂O₅膜形成型のTaやNbの方が優れている。その違いは、酸化膜の保護性を低下させるハロゲンのフッ素を微量添加した沸騰硝酸中の平衡溶解度の違いに明瞭に現れる（図9）。Zr製機器は、孔食やSCC感受性の低減策として、給液中のフッ素の混入量を10ppm以下に規制している（文献22）。Nbは、フッ酸-硝酸の混酸中でも溶解度が低く混酸系への適用性が高い。機械的特性では、Zrは実用温度域のクリープ強度や疲労強度が低く、形状管理が重要な機器の構造設計や製造工程では、厚肉化、拘束強化、最小曲げ半径の制限、水素吸蔵防止等の制約が多い。体心立方晶の耐食金属Nbは、DBTT（延性-脆性遷移温度）の上昇が実用上の課題となるが、EHP溶製法により抑制出来る。Nb系合金では、固溶強化と耐硝酸性双方が改善出来るNb-W合金が最も優れている。共材溶接施工は、現行R-Zrに適用している不活性ガス下のTIG溶接で対応できる。Nbは、ZrやTi系合金と比較して硝酸溶液中の疲労き裂伝播速度が一桁以上小さく、SUSとの異材接合継手には破壊靱性に優れた動的拡散接合が適用でき、耐震性上のLBBの要求にも適合し易い。高酸化電位の沸騰硝酸中では、脱不働化の性質を持つZrは高いTGSCC（粒内型応力腐食割れ）感受性を示すが、耐硝酸性と機械的特性の双方に優れたNb-W合金は優れたSCC抵抗性を示す（図10）。

表1に専門用語の解説を示す。

<関連タイトル>

[再処理の概要 \(04-07-01-01\)](#)

[湿式再処理プロセス用材料 \(04-07-01-11\)](#)

<参考文献>

- (1) 清瀬：原子力化学工業、第3、4分冊（1983）
- (2) 住谷、田中ほか：原子力工業、38、10-、55-（1992）
- (3) 日本原子力学会：次世代再処理技術の課題（1991）
- (4) 原子力委員会：実用化戦略研究フェーズ2 報告書（2006）
- (5) 原子力安全委員会：発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（2006）
- (6) 原子力安全委員会：再処理施設安全審査指針について（1985）
- (7) 木内：日本原子力学会誌、31、229（1989）
- (8) 武田他：再処理技術における材料技術開発の現状、動燃技報、67、64（1988）
- (9) 槇彰：サイクル機構技報、No.14、39（2002）
- (10) L.L.Gilbert：Metal Progress 70、93（1956）
- (11) J.A.Beavers et.al：Corrosion 36、292（1981）
- (12) 加藤：JAERI-Research、2003-013（2003）
- (13) 木内他：表面技術、54、942（2003）
- (14) 滝沢他：低温プラズマが誘起する水素透過175、432（1999）

- (15) (財)原子力安全技術センター：核燃料再処理施設の技術基準、加工施設及び再処理施設の溶接方法の認可について（1987）
 - (16) 梶村他：日本金属学会会報、31、725（1992）
 - (17) 田中他：原子力工業、38、55（1992）
 - (18) K.Kiuchi et.al：Proc. of Int. Sym.on RECOD`94, Vol.3（1994）
 - (19) K.Kiuchi et.al：Proc. of Int. Sym.on RECOD`98, 859-, 867-（1998）
 - (20) 土井他：JAEARI-Research 2001-020（2001）
 - (21) 木内：日本原子力学会誌、48、No.11（2006）
 - (22) G.Beranger et al.：LE ZIRCONIUM, Ecole Normale Superieure de Lyon, France（1990）
 - (23) 中山他：JST公募型原子力システム開発事業中間成果報告書（2007）
 - (24) 木内他：JAEA-Research 2006-023（2006）
 - (25) 本岡他：材料と環境、48、320（1999）
-

表1 専門用語解説

- ・ EHP; 酸化力の高い腐食環境でのステンレス鋼等の粒界腐食や溶融割れ/高温割れの防止対策として、合金中の主要不純物量を0.01wt%以下に抑制した超高純度(Ultra-High-Purity) 溶製材の略称である。原子力用の低炭素仕様の非鋭敏化L鋼、再処理硝酸用の極低炭素仕様のR-ULC鋼よりも上級の防食対策材となる。
- ・ 低速電子励起界面反応; 水分子等の脱離・吸着・分解が生じる沸騰伝熱面の腐食に及ぼす放射線作用では、水環境側の放射線分解の励機種のほか、材料表面上で放射線励起した多量の低速電子により原子状の酸素や水素等の励機種が生成して、酸化や水素透過等の界面反応を直接促進する効果が重要となる。
- ・ LBB; Leak Before Break の略称であり、原子炉規制法の観点では、耐震性を含めて特に安全性が重要となる機器の圧力壁となる構造部材には急速破断や大規模破壊が生じないことが不可欠となる。その担保条件として、材料に対しては供用期間を通して十分な破壊靱性が保持され、脆性破壊を生じないことが要求される。
- ・ トンネル腐食; 加工フローと呼ばれる製造履歴に依存した介在物や析出物の連続分布や結晶粒界の不純物の偏析方向に沿って、穿孔型の侵食や割れが生じる現象である。熱履歴の不十分な鍛造材に生じる場合が多く、腐食環境側に加工方向の端面を露出させない材料対策や上記の金属組織を無くすESR溶製法等が有効である。
- ・ 裏波腐食; 多層盛りのTIG溶接継手において、溶接金属の初層側が選択的に腐食される事象であり、溶接肉盛りの間に繰返し熱履歴を受ける初層側では再結晶粒界への不純物の拡散濃縮が促進されて耐食性が大きく低下する。腐食環境側に初層を出さない溶接施工法が採られる。
- ・ NOX割れ; 現象的には明らかにされているが、機構的には未明確の部分が多い。金属のニトロシル錯体の生成・分解や、酸化力の高い隙間先端でのNOXガス濃縮と急速な酸化発熱反応が想定されている。化学的反応性の高い高融点耐食金属の方がステンレス鋼よりも高いNOX割れ感受性を有する。
- ・ コリオ試験; 一般にステンレス鋼やニッケル基合金は、六価クロムが安定となる高酸化電位の腐食条件ではCr酸化膜の保護性が大きく低下して粒界腐食優先型の減肉が生じ易くなる。それは過不働態腐食と呼ばれている。その生じ易さの評価試験には、コリオ(Coriou)と呼ばれる六価クロムを添加した沸騰硝酸溶液中の浸漬試験法が用いられる。
- ・ GD-MS分析; グロー放電と質量分析法を組み合わせた微量元素の機器分析法であり、試料中の他種類の不純物元素の同時定量分析が可能である。
- ・ 動的拡散接合; 熱間圧延や押出し等の高温の加工により異種元素を接合させる手段であり、加工に伴う新生面の生成と拡散作用により接合性能を高める。圧下力と温度及び表面清浄度が接合性能の重要な支配要因となる。
- ・ 共沸点濃度; 硝酸-水の溶液系では、65%近くの硝酸濃度において沸点が極大となり、その温度を共沸点、温度を共沸点濃度と呼ぶ。
- ・ 凝縮流動硝酸腐食; 腐食が溶出した自己イオンの溶解度との平衡反応に支配されるインヒビター効果を持つ場合には、溶出イオン濃度に依存して腐食が抑制される一方、気-液界面では、蒸発-凝縮した新鮮な硝酸に洗われる条件となり、腐食減肉が流動条件に依存して促進される。
- ・ 応力腐食割れ; 環境-応力-材料の3つの要因が関わる環境誘起割れのSCCには、割れの伝播形態から粒界型(IGSCC)と貫粒型(TGSCC)の二つのタイプがある。
- ・ 脱不働態; 酸化電位の高い条件では、ステンレス鋼の場合、Cr酸化膜の保護性が無くなる過不働態腐食が重要となる一方、ジルコニウムでは酸化膜が厚く脆くなる脱不働態と呼ばれる事象が生じてSCC感受性が高くなる傾向を脱不働態と称している。チタンでは孔食電位が現れる。それらは共に、保護性の優れた高次酸化物を持たないことが関係している。

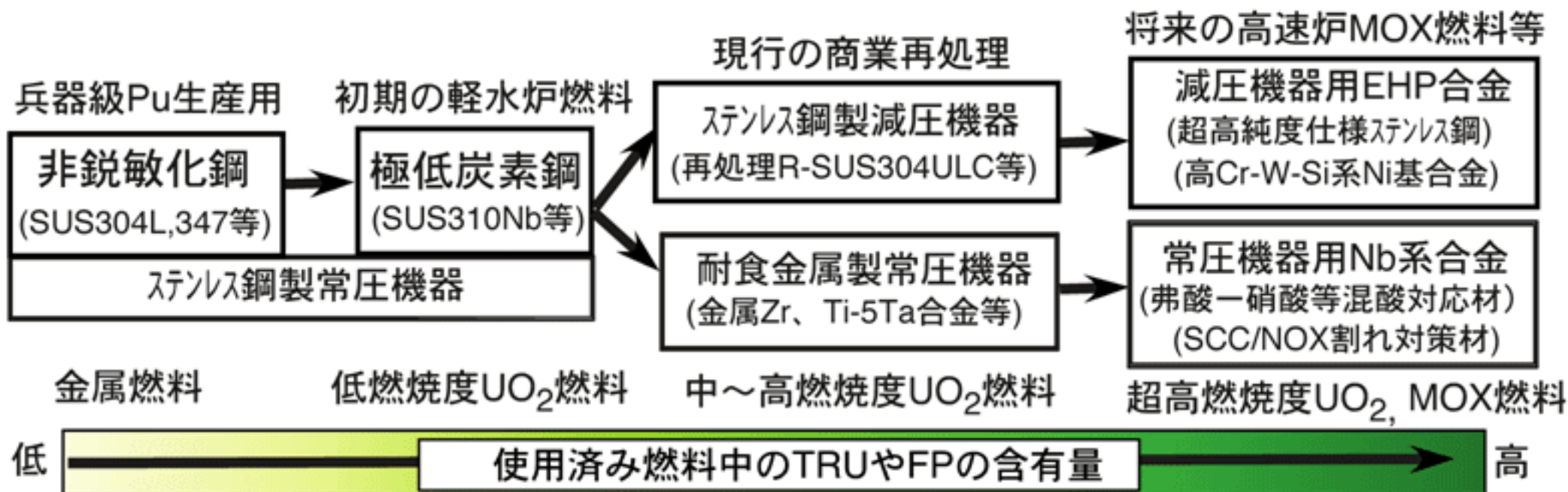
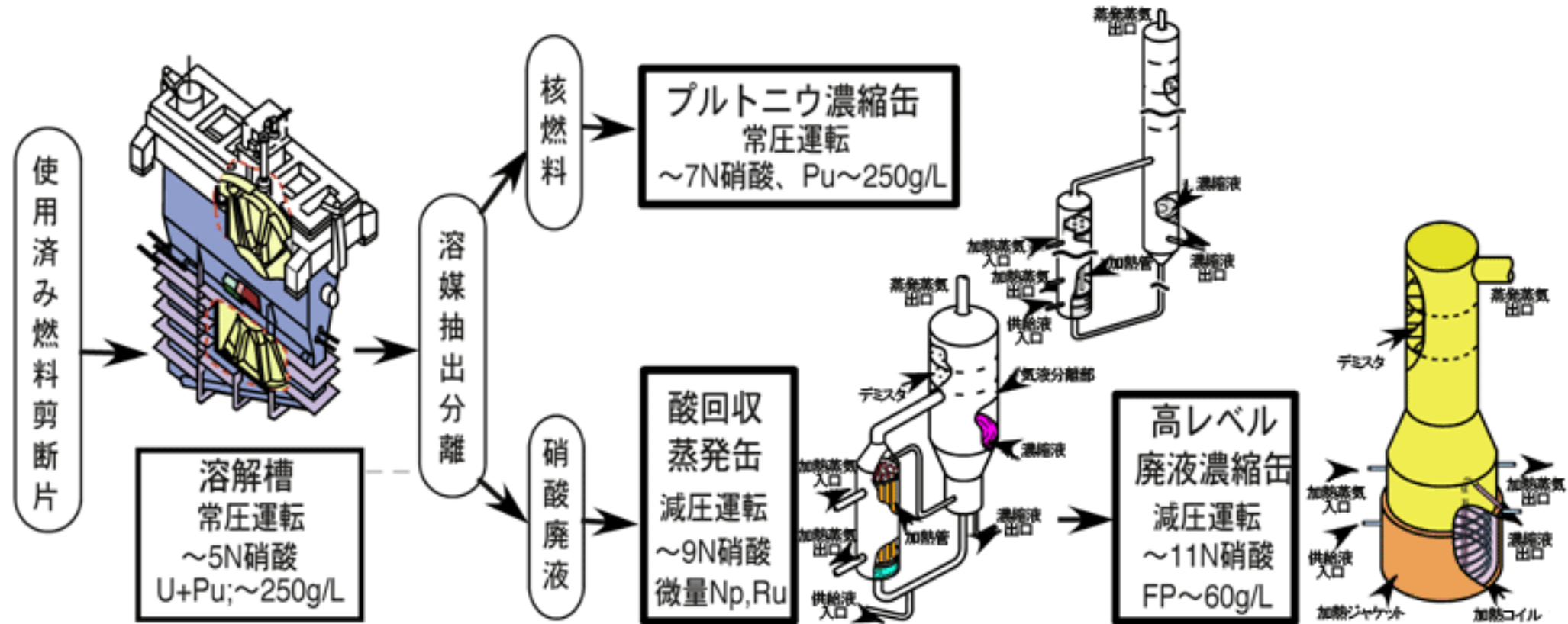
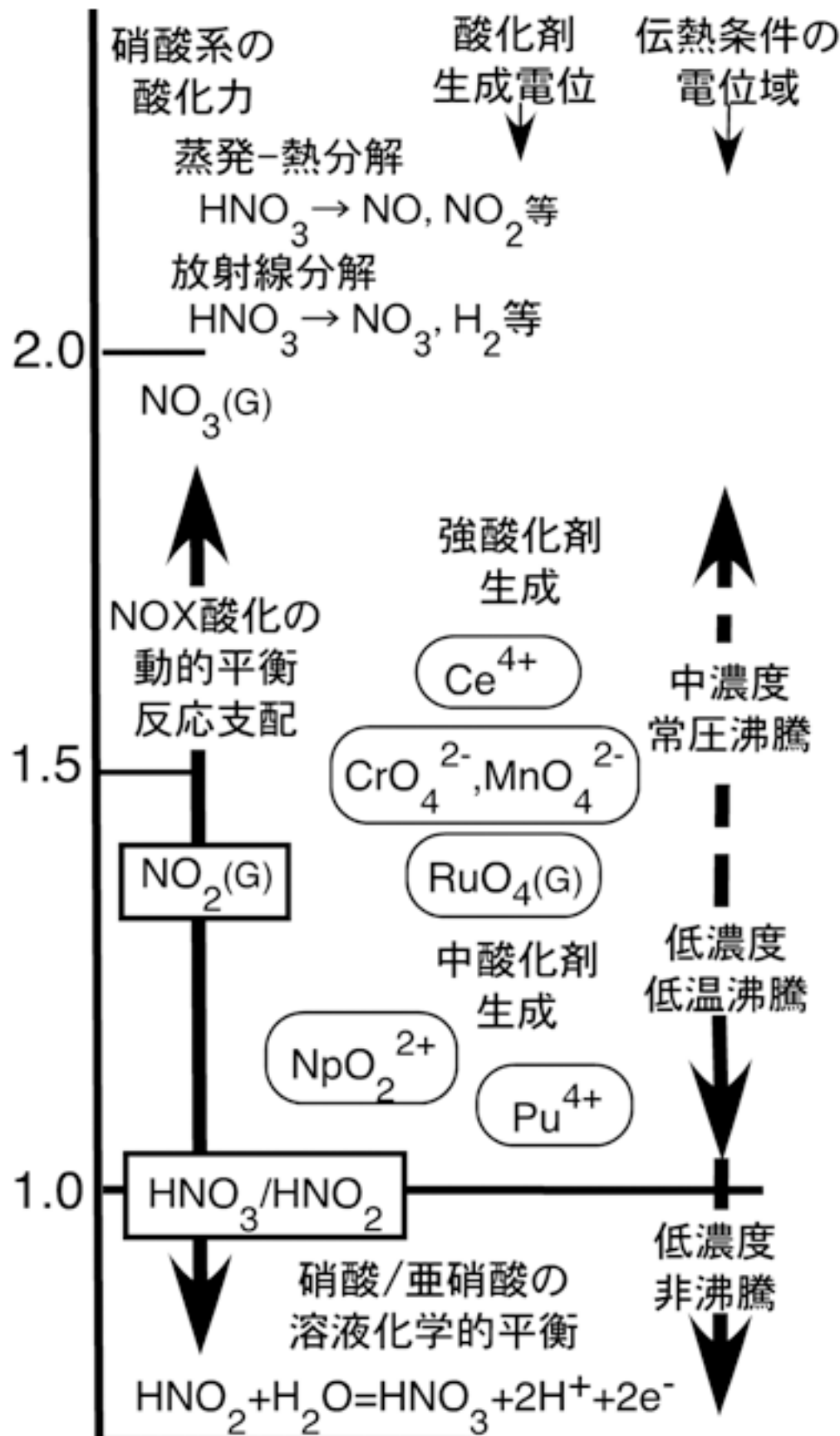
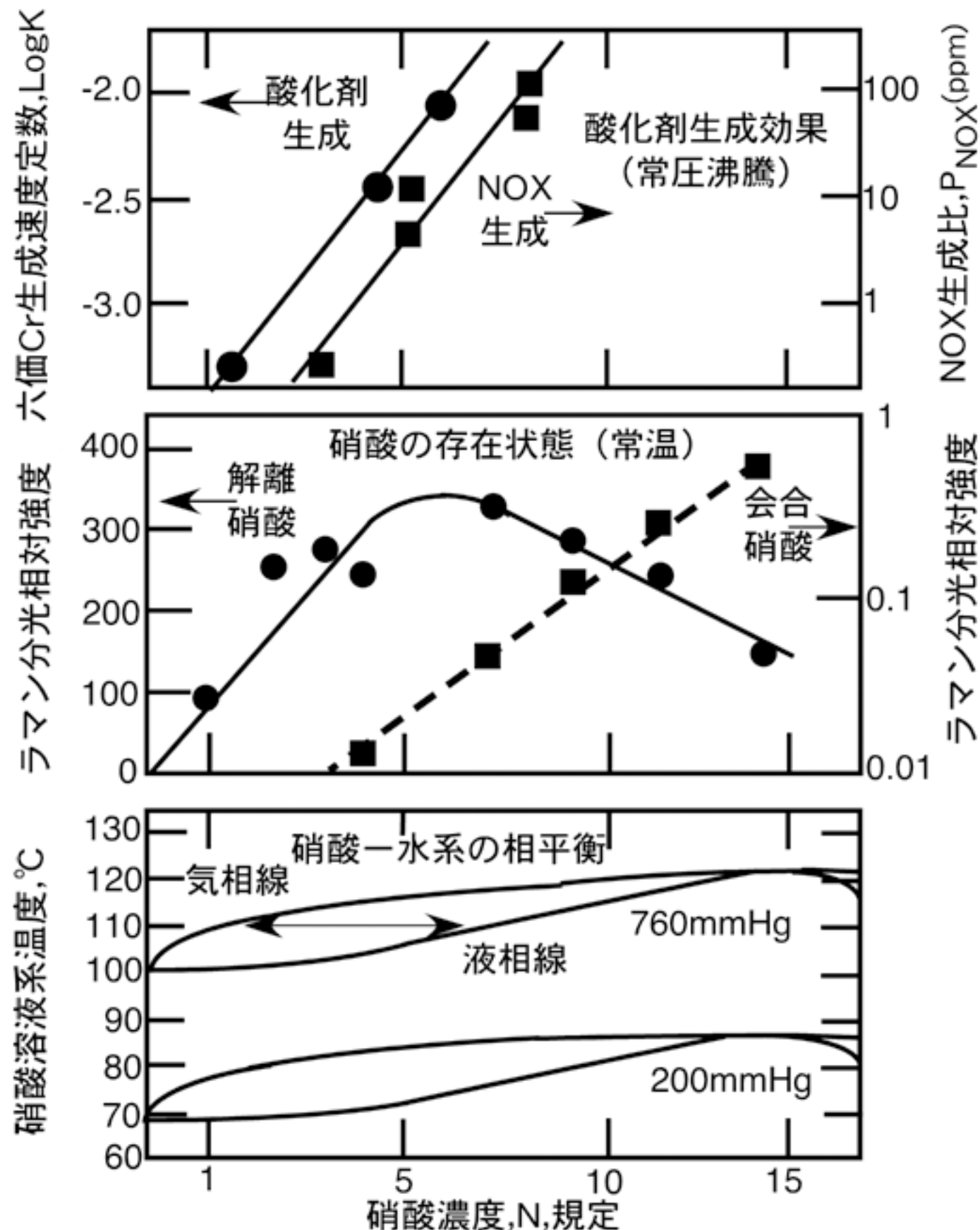


図1 湿式再処理で耐硝酸性が重要な伝熱機器と燃焼度に対応した材料開発の経緯
 [出典]田中他：原子力工業、38、55(1992)



再処理硝酸系の腐食では機器の伝熱条件に依存して硝酸の蒸発-熱分解が起こり、生成するNOXガスに依存した各酸化電位域でFPやTRUの金属イオンから各種の酸化剤が生成し、酸化剤の還元-金属溶解反応支配の腐食が発生。

図2 再処理硝酸溶液系の内容物に関わる腐食性の変化

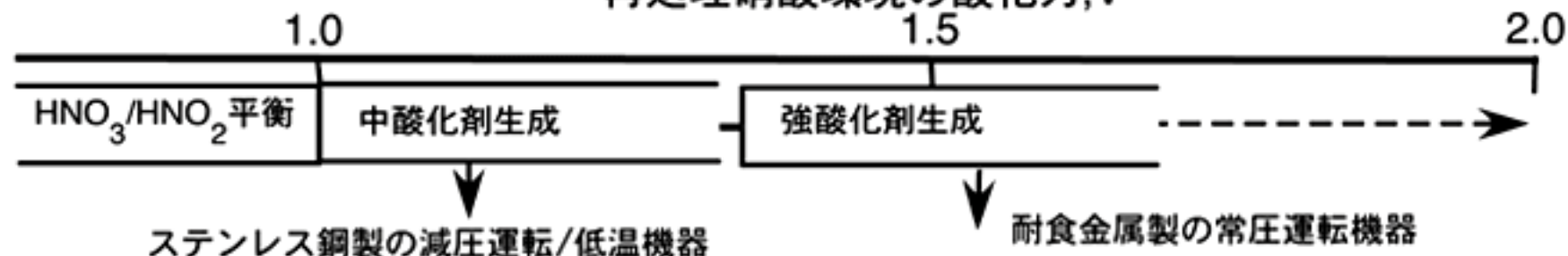


伝熱面腐食には硝酸濃度に依存した蒸発-熱分解に伴う強酸化性NOXガスによる酸化剤生成(六価クロム等)(上図)が関わり、それには硝酸濃度に依存した解離性の高い会合硝酸濃度(中図)の増大と硝酸-水系の気液分離による界面近傍の液相硝酸の局所的な濃縮効果等の硝酸の溶液化学的性質が関係(下図)。

図3 硝酸濃度に依存した沸騰伝熱面腐食に関わる硝酸の溶液化学的性質

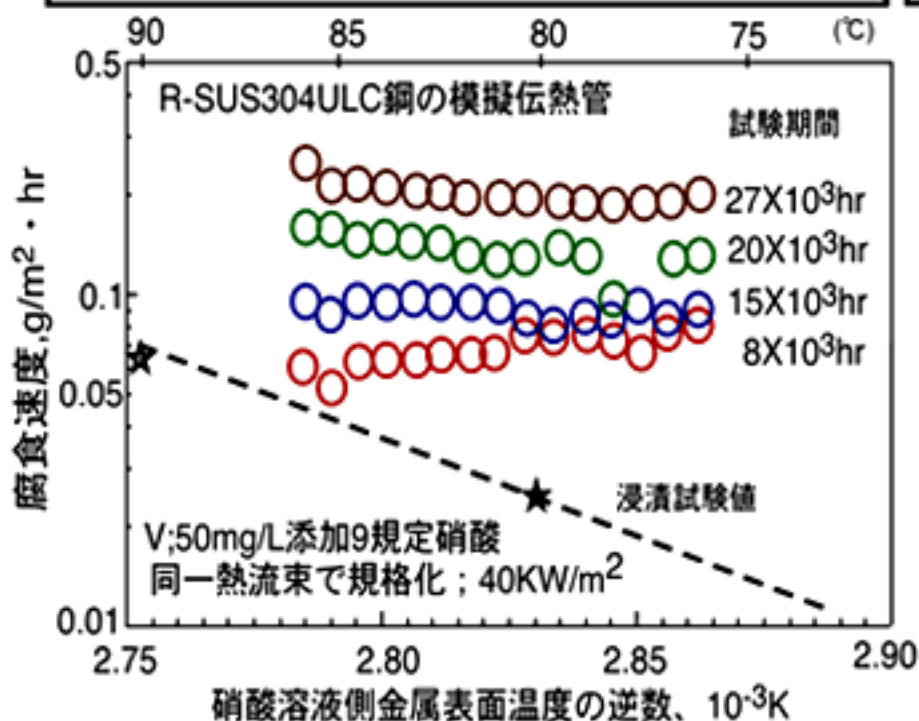
[出典]日本原子力学会：次世代再処理技術の課題(1991)

再処理硝酸環境の酸化力, V



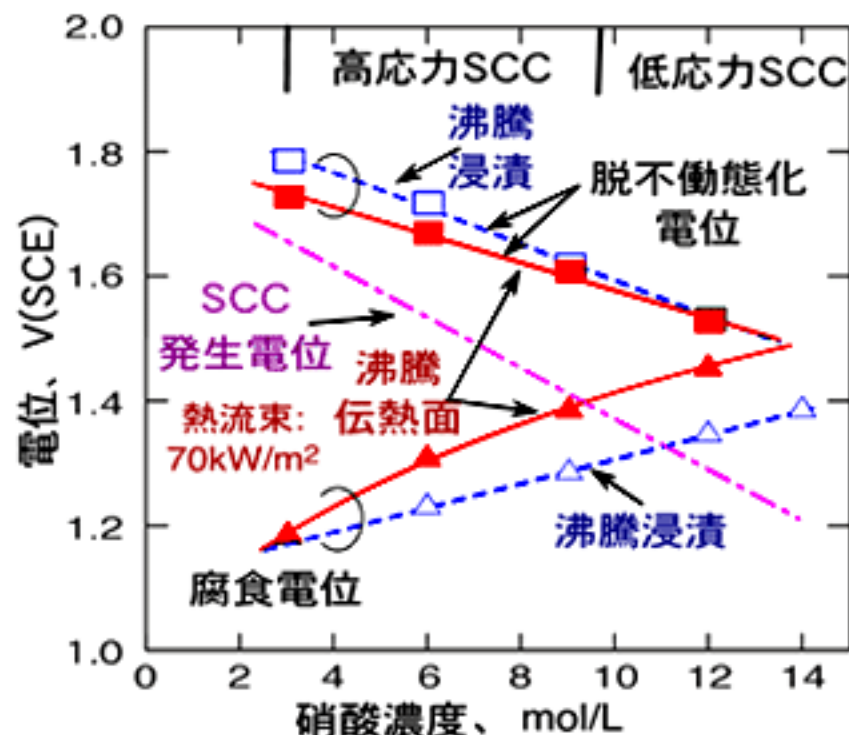
腐食速度=F{中酸化剤生成速度、金属表面温度}
 沸騰伝熱面腐食；粒界偏析依存型の減肉
 裏波腐食；溶接金属の初層再結晶粒の優先侵食
 トンネル腐食；鍛造材の加工フローの選択侵食

腐食速度；酸化膜の溶解度 (M_{CM}) に依存
 $dW/dt = K\{M_{CM} - [C_M]_t\}$ (時間tの濃度 C_M)
 Ti系合金；凝縮部腐食/逃散/擦過腐食/NOX割れ
 金属Zr；皮膜破壊型TGSCC/擦過腐食/NOX割れ



ステンレス鋼伝熱管の同一熱流束換算での
 腐食速度の経時漸増傾向の評価例

ステンレス鋼の腐食は温度と熱流束が関わる酸化剤の生成濃度に依存し温度依存傾向が減少。
 Zrの耐応力腐食割れは酸化膜の保護性が低下(脱不働態化)する硝酸濃度や電位の高い条件で発生。



金属ZrのTGSCC発生電位領域の電気化学的評価例

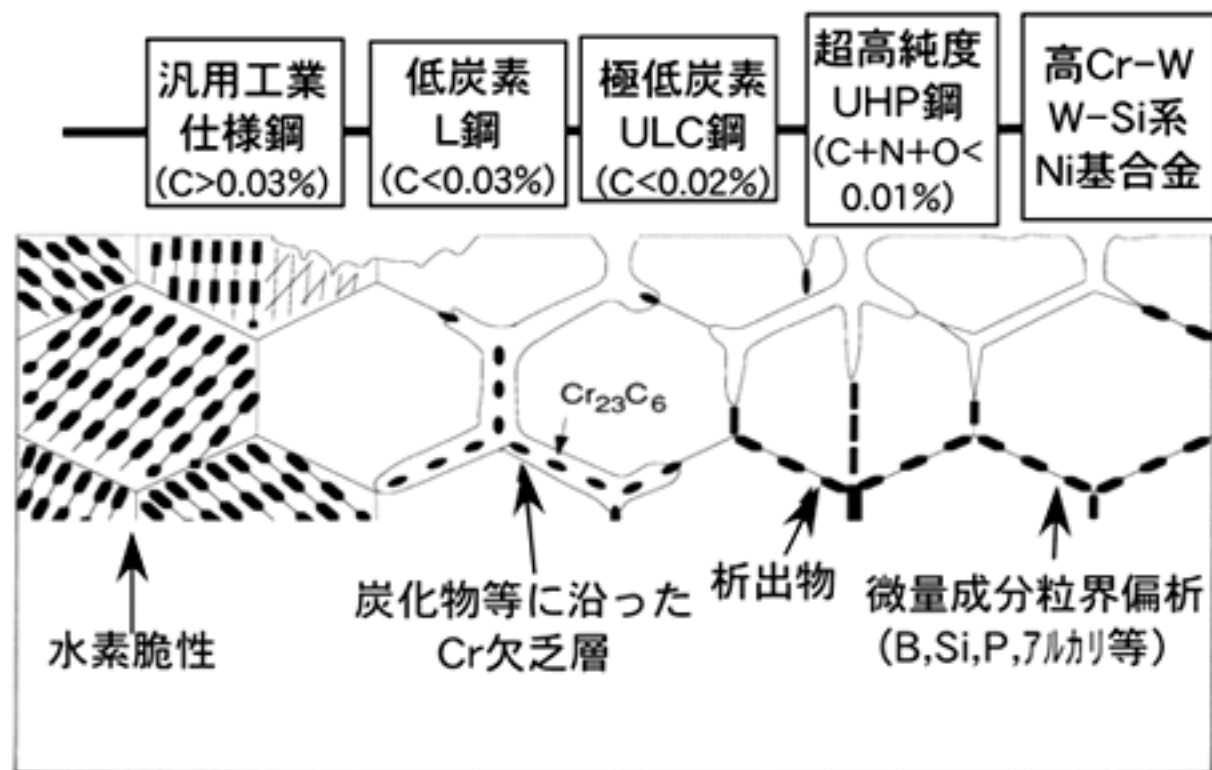
下記の出典をもとに作成した

図4 再処理硝酸用伝熱機器で重要となる腐食や環境誘起割れの支配要因

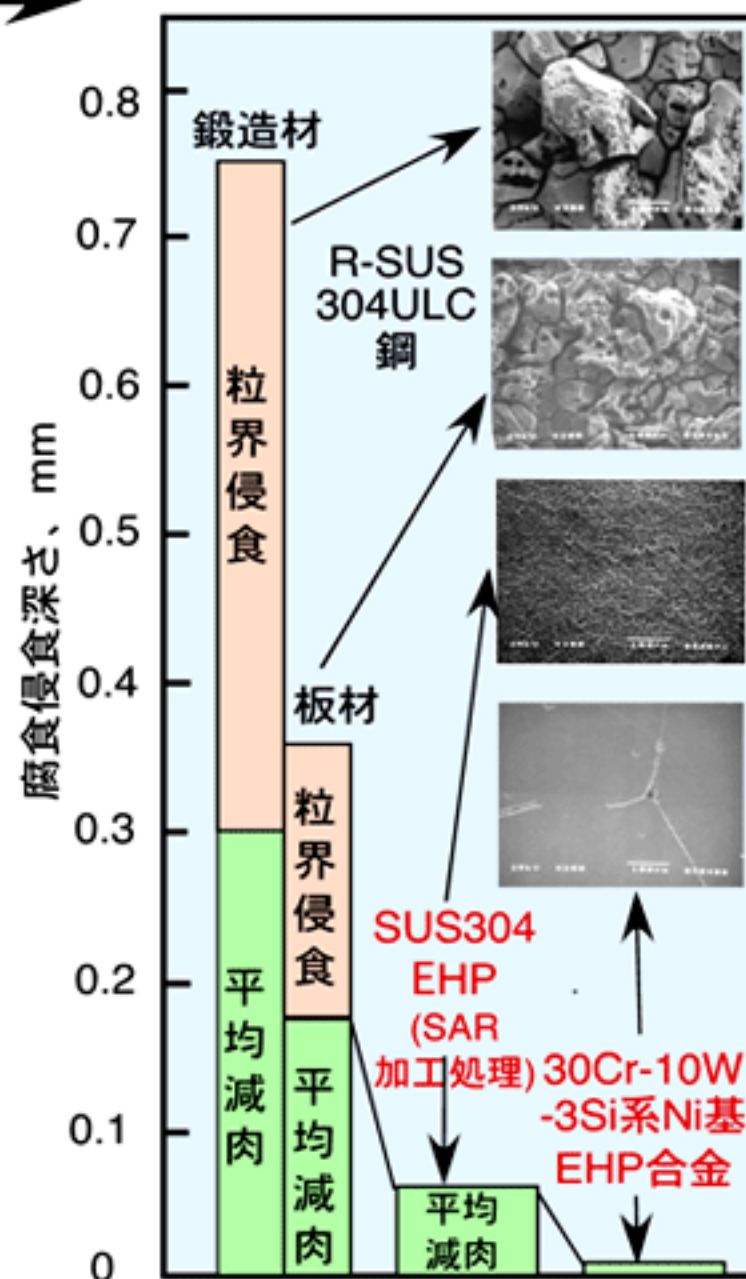
[出典](1)K.Kiuchi et.al: Proc. of Int. Sym.on RECOD`98, 859—, 867—(1998)

(2)加藤: JAERI—Research, 2003—013(2003)

腐食電位（酸化力）に対応した腐食挙動と防食材料対策



沸騰伝熱面模擬腐食試験例
熱流束: 128KW/m², 2400時間
9N硝酸+酸化剤V200mg/L

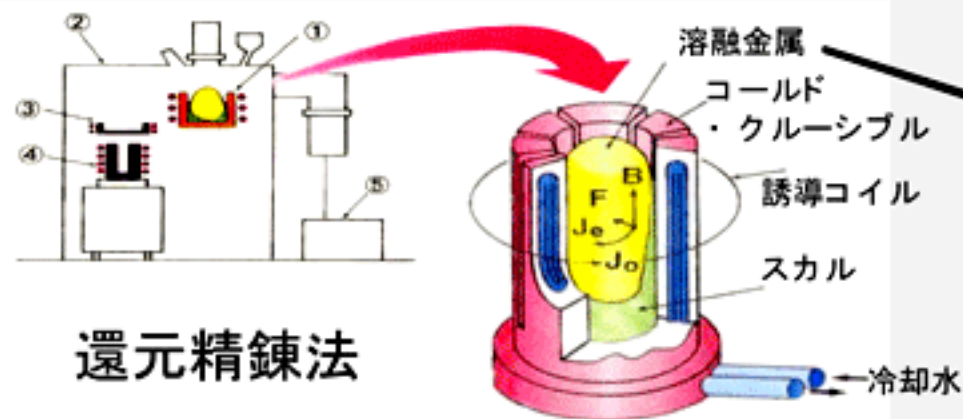


腐食電位の高い高酸化力の環境程、結晶腐食の抑制に高度の対策が必要となり(左図)、それには粒界偏析する鋼中の不純物を除去する超高純度EHP溶製法、加工熱処理及び造膜元素の複合添加法が有効(右図)

図5 腐食電位によるステンレス鋼の粒界腐食の促進要因の違いと腐食の抑制対策例
[出典]土井他: JAEARI-Research 2001-020(2001)

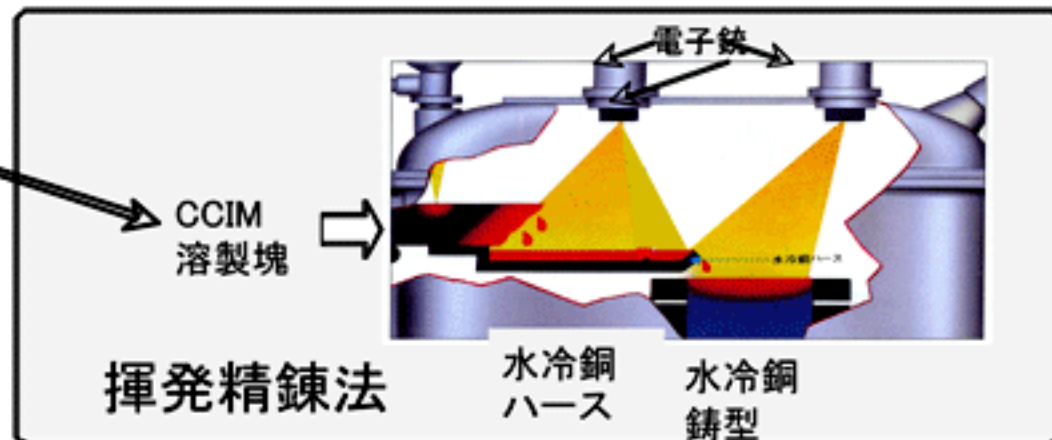
前段: コールド・クルーシブル磁気誘導溶解(CCIM-CaF)

低品位原料中の非揮発性不純物の除去



後段: コールド・ハース電子ビーム溶解(EB-CHR)

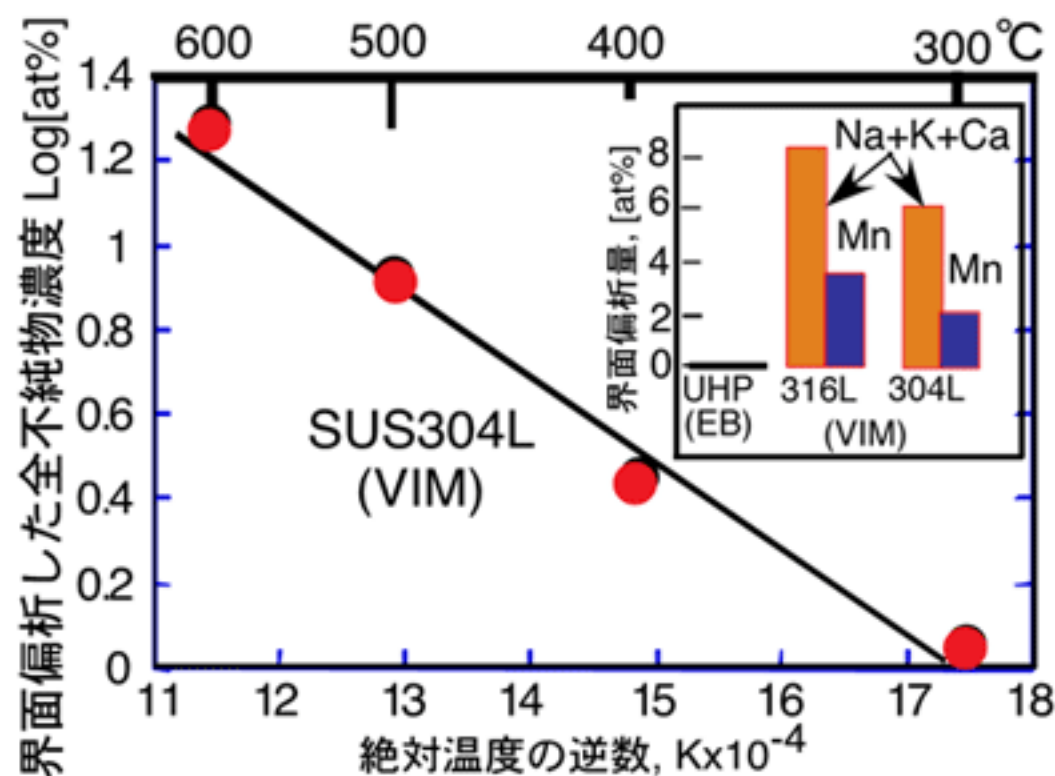
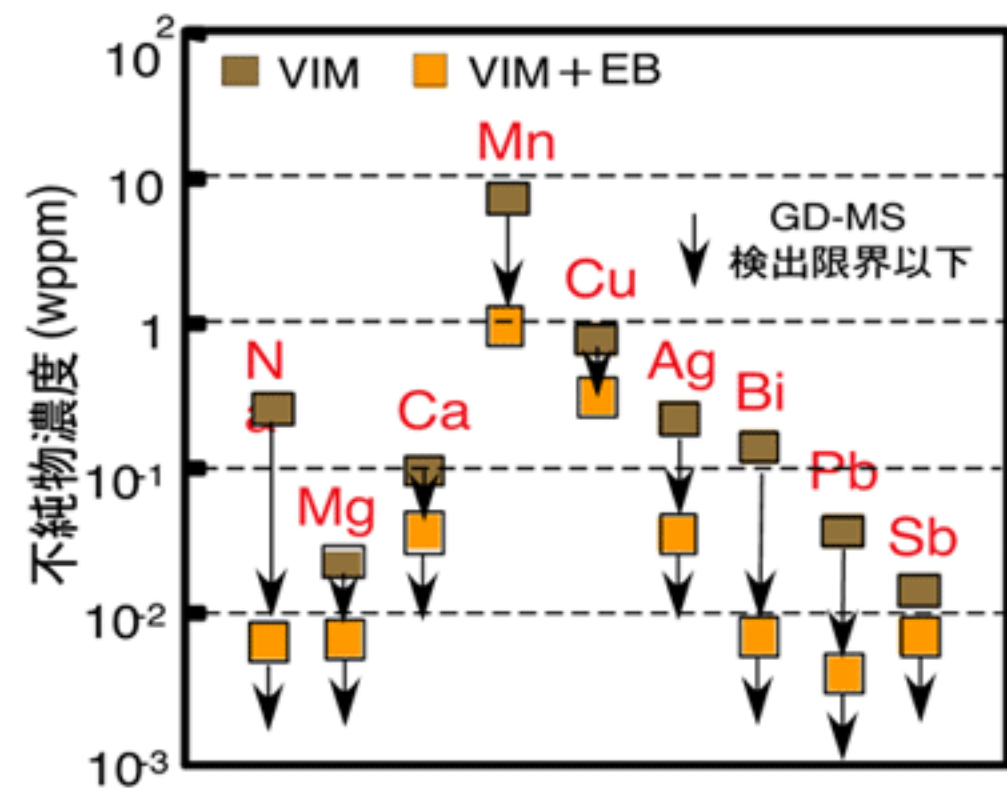
揮発性不純物の除去と中間製品の溶製



超高純度EHP仕様の大型鋼塊を溶製する手段として、高周波誘導浮上型の真空溶解炉CCIM-CaFの還元精錬とコールドハース使用の電子ビーム溶解炉EB-CHRの揮発精錬を組合せた複合精錬法があり、その手段では低廉原料から前者で非揮発性不純物、後者で揮発性不純物を効率的に除去し、商用ベースのEHP合金の製造が可能

図6 大型実用構造物用の超高純度EHP仕様の低廉溶製技術の開発例

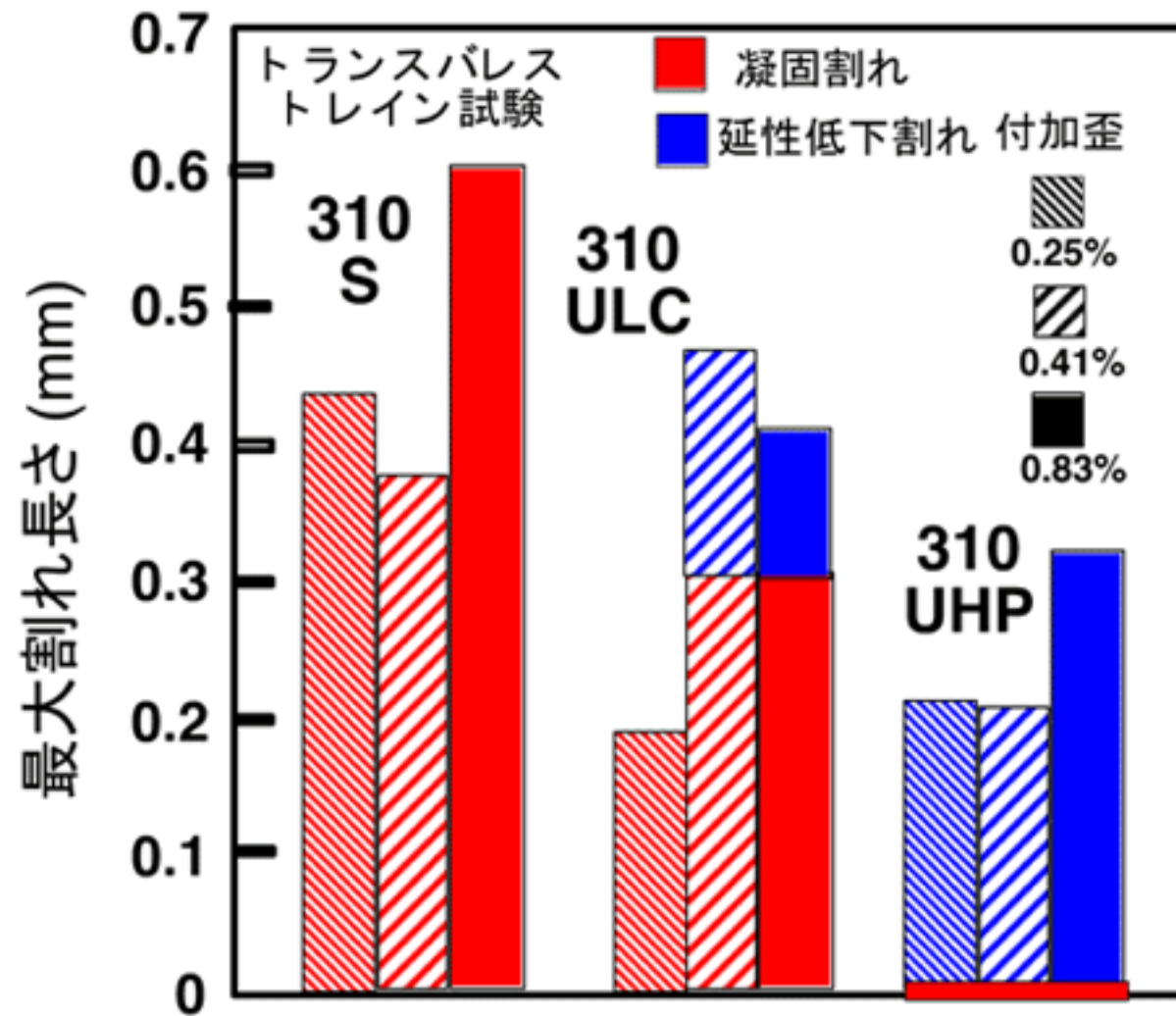
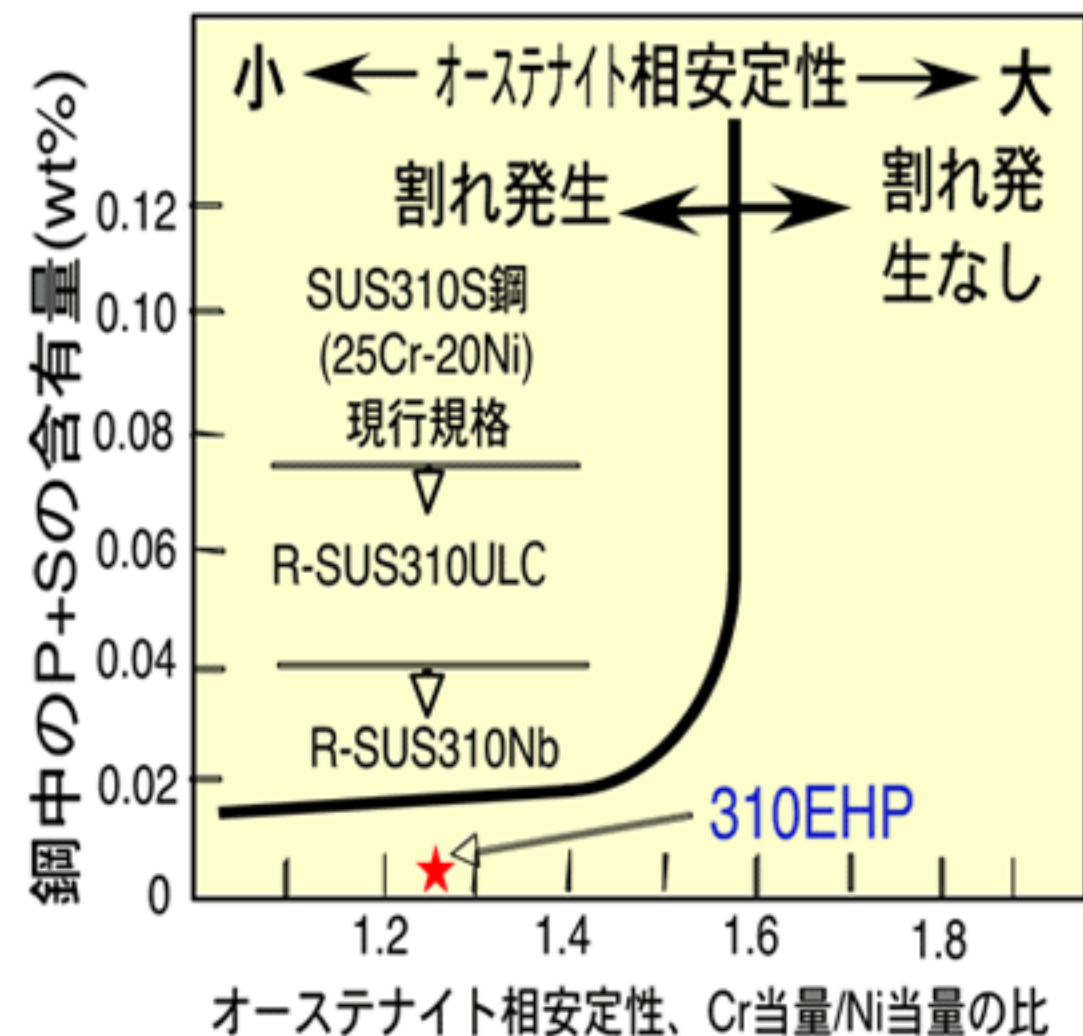
[出典]中山他: JST公募型原子力システム開発事業中間成果報告書(2007)



現行の原子炉材料に適用している真空二重溶解(VIM+VAR等)は、揮発精製効果が低く、凝固時にセラミック坩堝からアルカリ金属等の汚染が起こるが、水冷銅坩堝のEB溶解は主要不純物がVIMの1オーダーレベルまで低減し(左図)、高温真空焼き出し法での有害元素の界面偏析(アルカリやMn等)も無検出(右図)

図7 EHP複合溶製技術に適用する電子ビームEB溶解法の不純物の揮発精製能力

[出典]木内他: JAEA—Research 2006—023(2006)

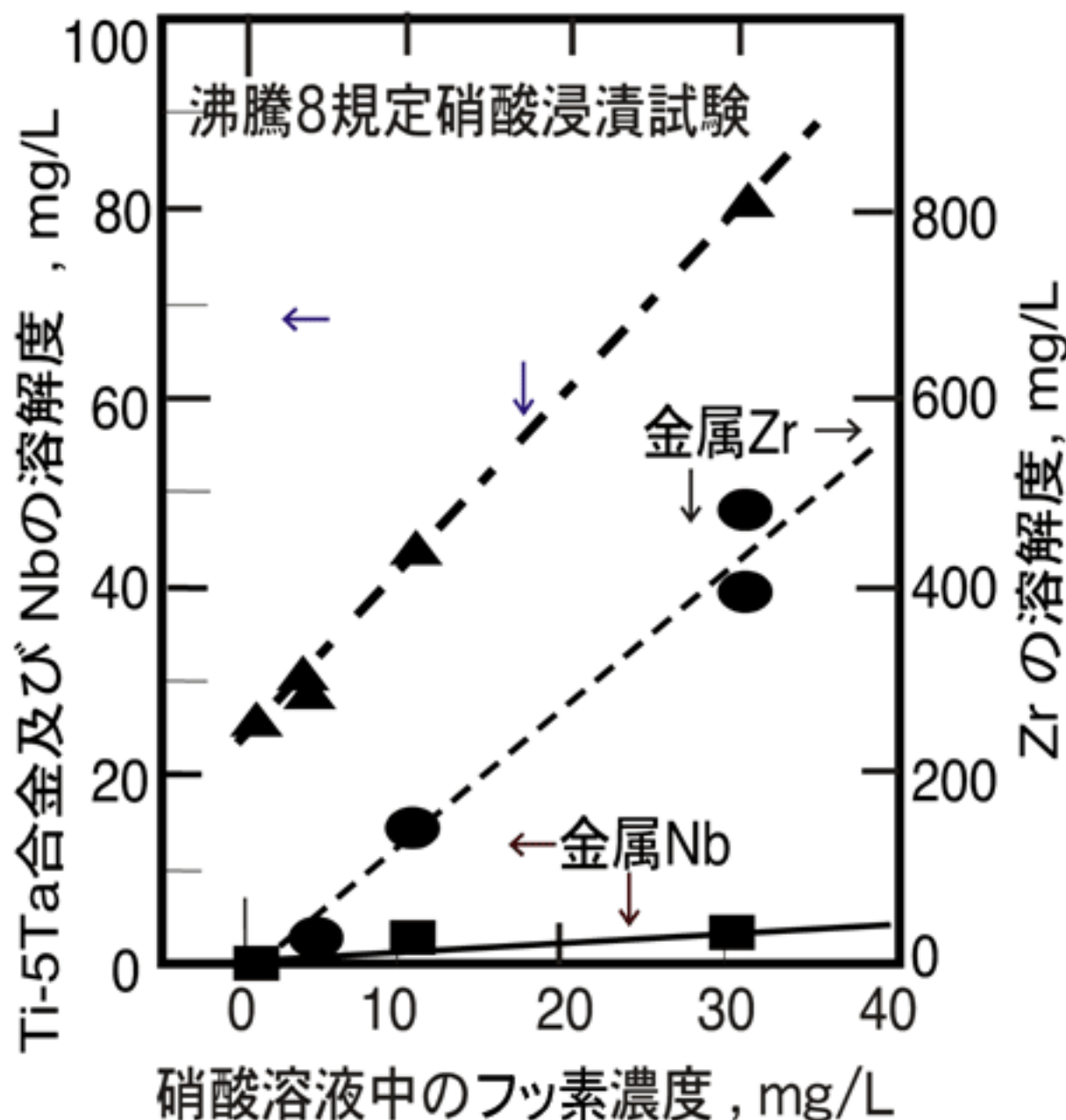


SUS310系鋼のTIG溶接では、PやS濃度が高い場合、溶接割れ感受性が高く(左図)現行規定では耐食性を害するMn添加の溶接材料が必要となるが、それらの不純物を十分に除去したEHP鋼では溶接割れ感受性が低下し、特に凝固割れが全く無く共材溶接が適用可能(右図)。

図8 EHP技術による安定オーステナイト系ステンレス鋼のTIG溶接施工性能の改善

[出典]中山他:JST公募型原子力システム開発事業中間成果報告書(2007)

弗酸添加硝酸中の飽和溶解度

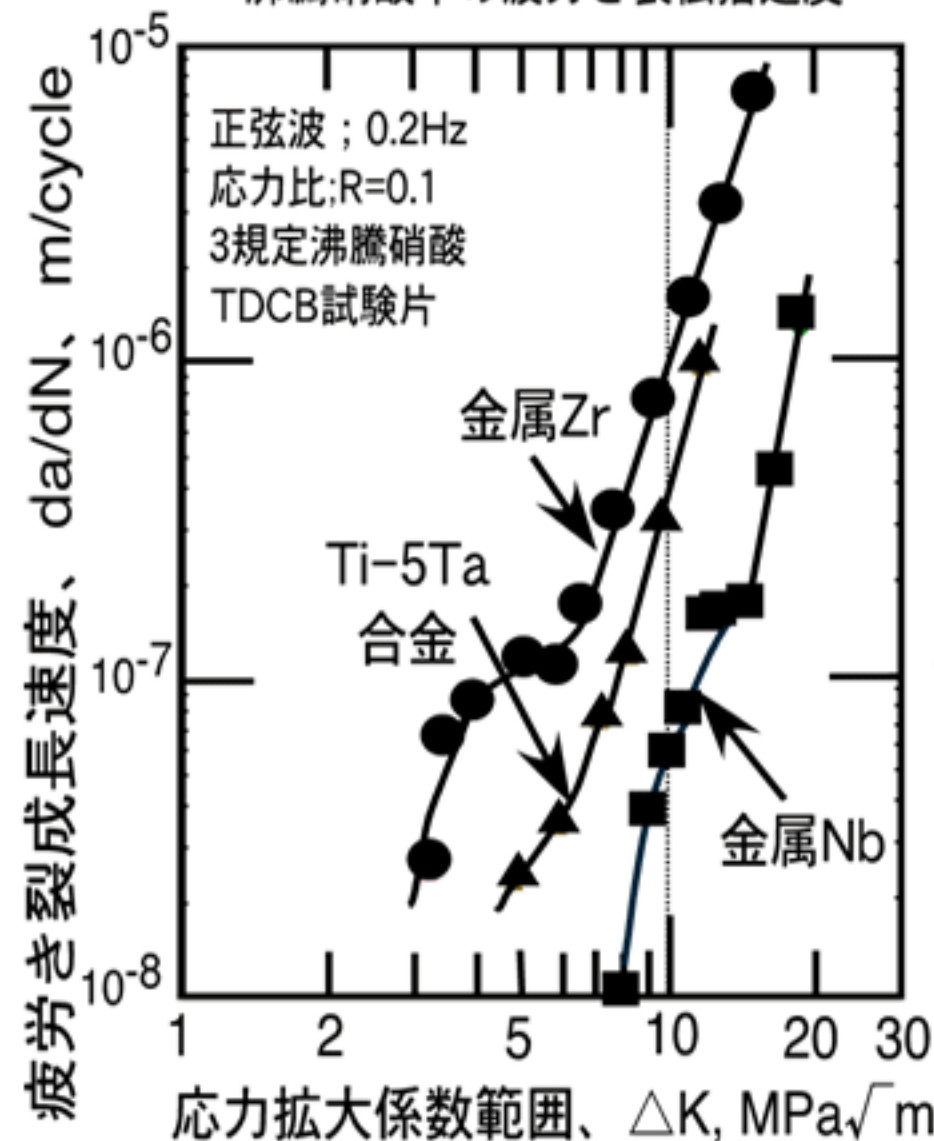


Nb系合金は現行材のTi-5Ta合金やZrと比較して、フッ素添加硝酸中の溶解度が一桁～二桁小さく、MOX燃料溶解に混酸を用いる場合の溶解槽やフッ素が混入し易い廃棄物蒸発缶等への適用が可能。

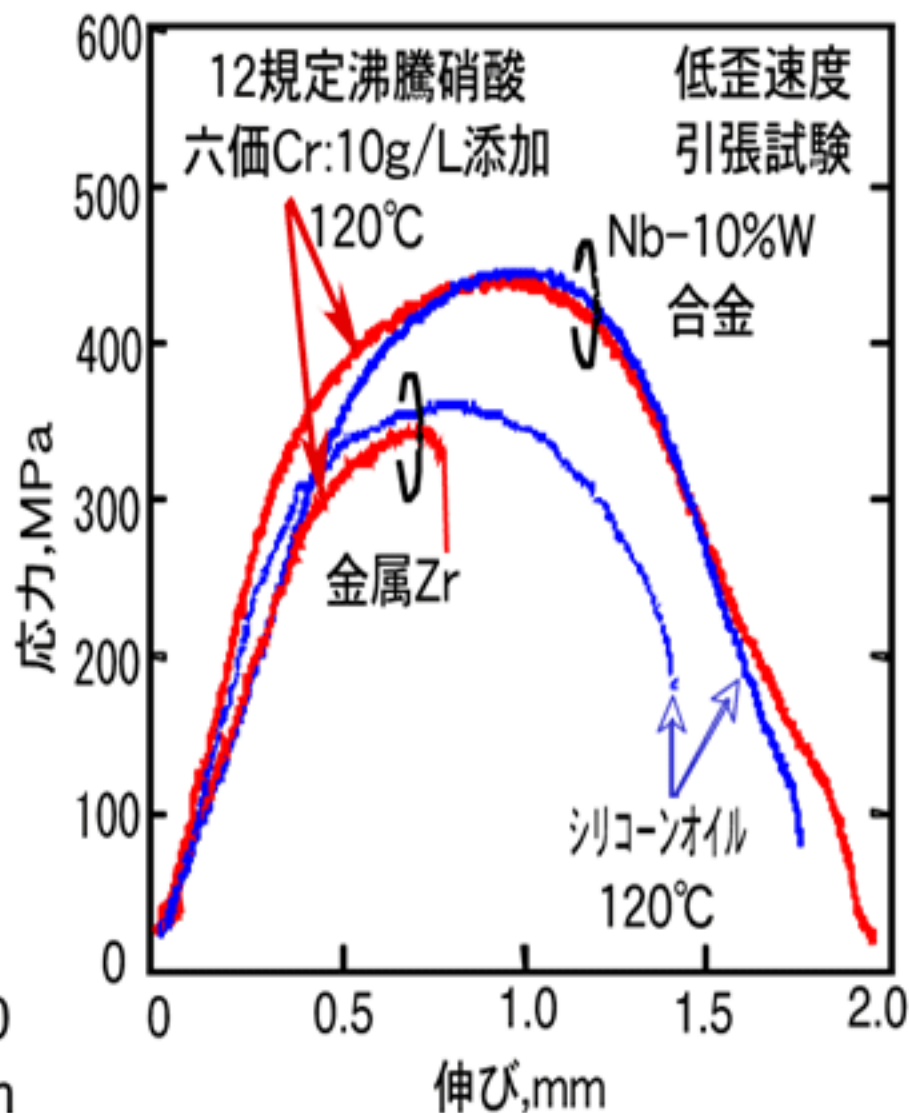
図9 耐食金属材料間の沸騰硝酸中の溶解度のフッ素添加量依存性の違い

[出典] K.Kiuchi et al: Proc. of Int. Sym.on RECOD'98, 859—, 867— (1998)

沸騰硝酸中の疲労き裂伝播速度



沸騰硝酸中の応力腐食割れ感受性



Nbは、現行材のZr及びTi-5Ta合金と比較して、疲労き裂伝播速度の応力拡大係数依存性が一桁以上小さく(左図)、高酸化電位の沸騰硝酸中のSSRTでもZrのような破断伸びの低下を示さず(右図)、耐硝酸性機器への適用性が大。

下記の出典をもとに作成した

図10 耐食金属材料間の沸騰硝酸中の環境誘起割れ抵抗性の違い

[出典](1)本岡他:材料と環境、48、320(1999)

(2)加藤:JAERI-Research、2003-013(2003)