

## 耐久性と持続可能性

それはもったいぶった感じの語かもしれないが、“持続可能な発展”は設計者の思考の表面に浮上し始めつつある。エネルギーと原料を社会に有用な製品に変えるのは、これらの人々である。現在、設計者が利用できる若干の材料は、もともと他の材料よりも耐食性がある。工業製品と建造物が使用されると予想される環境は、存在する酸素や塩化物のような化学種は非常に変化する。環境は又温度と圧力も変化する。無数のありうる環境において、使用される製品寿命に亘り、いかにして材料がその役割を果たすかということは、技術者や材料指定者の頭を何10年間も一杯にしてきた。

しかし今日、これらの問題は特に複雑で、簡単な技術的及び経済的解析以上のものを必要とする。我々はその多くは自身の活動によりもたらされた、急速な環境変化の時代に生きている。工業製品に用いられる材料の量と品質は、どれだけエネルギーと自然原料が消費され、どれだけ社会の機能に役立つかを決定する。もし設計者が耐久性があり、100%リサイクルできる或は設計寿命の最後に再生利用できる材料を選定するならば、有用な製品を作るのに生ずる廃棄物のいくらかは除くことができる。特に次の二つのことが設計者が賢明な設計をするのを助けるだろう。それはより詳細なライフサイクルデータと各種の選択を知っていることである。

本号のレポートは一つのこのような耐久性があり、リサイクルできる材料、即ちNi合金鋼の利点を例証している。それは北部の有潮河川にかけた鉄道／高速道路の組み合わせ橋に関する記事である。それは、海水及び冬の除氷塩からの自然の風で運ばれる塩化物にさらされる建造物である。この特別の橋は、主としてNi合金鋼を用いて83年前に建設され、丁度今、最初の主要復旧工事を受けている。

Ni合金鋼の投下資本と維持費を軟鋼のようなその他の材料と比較する、この橋の正式なライフサイクルコスト分析は、これまでになされなかった。しかし我々はこの研究はNiのはっきりした優位性を示すだろうと考える。初期投資コストは軟鋼よりかなり高いが、毎年の維持費と建造物の寿命後の全体の代替コストを考えれば、1917年の設計者が決めたNi合金鋼は賢明な選択であったことを示すだろうということは十分に予想される。Ni合金鋼の橋が過去83年間になしたと同じ役割を果たすために、軟鋼の橋は何回塗装をしなければならなかっただろうか？

代替のないことは、過去80年間に亘って働いたこの橋の役割を遂行するために必要とした天然資源（材料を製造するのに必要な原料とエネルギーの両方）はより少ないことを意味する。代替のないことは又、改善された信頼性、減少した休止時間、保守作業で起るより少ない交通渋滞及び結局より少ない廃棄物を意味した。

この将来のモデルは、材料選択はしっかりした科学的解析によって支えられなければならない人間中心の追求である哲学にうまく調和している。その解析に科学的厳しさを加えるために、NiDIは2001年初めに完了に2年間要した、ライフサイクル研究の結果を公開するだろう。それはNi生産に関連した自然環境への各種コストを詳細に明確にする。これらのデータは設計者が賢明な材料選択—耐久性と持続可能性で優位であるからますますNiが有利であるという選択—をするだろうと希望する。

Patric Whiteway  
編集発行人



## ステンレスでクリーンになる 強度と外観がステンレスの米国衣類洗濯市場への進出を助長

Maytag社が前方から入れる Neptune 衣類洗濯機の回転ドラムの製作にステンレス鋼を選んだのは、強度を期待してであった。現在家電メーカーは消費者がステンレス鋼の研磨された外観を要望しているので、ステンレス鋼をより低価格の洗濯機に用い始めた。

上から衣類を入れる洗濯機 Atlantis ラインのステンレス鋼ドラム又はタブを特徴とする3種の直立型は、消費者の要望に応じて2000年10月に売り出された。“それは全く営業が推進した洗濯機であった”と Newton, Iowaにある Maytag 本社のプロジェクトマネージャー Gary Schmitz は言う。“若干の消費者調査と世論調査をした後、我々は市場にはステンレス鋼に対する要望があることを見出した。”

それは他の Atlantis モデルに用いられているプラスチックドラムを代替する。“そこにはステンレス鋼はプラスチックよりも品質が上であるという消費者による認識がある。それは明らかに外観がよく、かつステンレス鋼はプラスチックよりも衛生的に良い”と Schmitz はつけ加える。

ステンレス鋼は欧州において長い間標準となってきたが、米国において長い間業界の標準であった珪瑯ドラムで洗濯機を作っている Maytag は、1990年代半ばに Neptune 洗濯機だけにステンレス鋼を用い始めた。その洗濯機のタブは衣類を前方から入れたり出したりする時のユーザーの背中への負担を楽にするために、上方に15°傾けられてきた。会社は腐蝕を防ぎながらその角度で高速回転する応力に耐えることができる材料を必要とした。

“それは強度の問題である。我々は水平形状に進んだので、タブは少し強度を必要とした。片持ばり方式だった。ステンレスを普通の炭素鋼と比較すると、成形が少し難しいが、ステンレス製は断然より良い強度が得られる”と Schmitz は言う。

家電業界は極めてコストに敏感であり、Maytag はこれまで 300 シリーズに最も低価格の一つである 6~8%Ni 含有の S30100 を選定した。同じ合金は Atlantis ドラムに用いられており、プラスチックを用いたコストと比較すると、最終製品のコストはかなり高くなると Schmitz は言う。しかし買い手が負担するのは僅か一部だけである。“我々はより高いコストを価格と量で相殺している”と彼は説明する。

耐久性は S30100 を選んだ一要因ではあるが、プラスチックと珪瑯ドラムはステンレス鋼と同じ寿命を保証している。

いくつかの Neptune と Atlantis モデルの重要なセールスポイントであるエネルギー効率、プラスチックとステンレス鋼は比較ができると Schmitz は言う。

ステンレスドラム付 Atlantis 洗濯機の小売価格は US\$649 と US\$749 で、Neptune ラインのトップの定価の約半分である。皮肉にも、消費者は見かけを重視するため、少し金属光沢を除く追加形成加工を必要とする Neptune のタブよりも Atlantis のタブは工場を少しく光り輝いて見えるようにする。

## 自動車排ガスは熱くなる 熱疲労に耐えるため、マニホールドはより強い材料で作られつつある

有害な排出物を下げるためにエンジン温度は上がるので、自動車メーカーは熱的疲労を防ぐために鋳造ステンレス鋼の排気マニホールドに変えつつある。

“エンジンはずっと高温で動いているから、いくつかの応用はステンレス鋼が必要である。これらはしばしばフルロードになる大型トラックエンジンが含まれる”と世界最大の乗用車及び軽トラック用排気マニホールド供給者である、カナダ Brantford, Ontario にある Wescast Industries Inc. の技術担当副社 William LeVan は言う。

GM は最近 2500/3500 トラックシリーズ用に Wescast が完全に鋳造し機械加工された Ni ステンレス鋼製マニホールドを供給することを選択した。その取引は Wescast が5年前にその技術開発を開始してから、この型のマニホールドを供給する最初の大きな契約である。GM トラックのそのマニホールドは約 13%Ni を含む CN12 ステンレス鋼で鋳造されるだろう。このステンレス鋼は優れた耐熱疲労性を有し、最小引張強度 370MPa、最小降伏強度 240MPa である。

大抵の排気マニホールドは通常の可鍛鋳鉄又は 4~5%Si と 2%までの Mo で強化された可鍛鋳鉄合金製である。後者は比較的高温で作動できる。

しかし 1970 年代以降、エンジン温度は 500°C も上がった。これは若干の鉄マニホールドが処理できるよりもっと高温である。将来エンジンは改善された性能のためでなく、より良い排ガス制御のために、もっと高温で作動することが予想される。エンジンガスの加熱が速くなればなるほど、排ガスを制御する触媒コンバータはより効率的になる。

その結果、LeVan は鋳造ステンレス鋼マニホールドは通常の鋳鉄マニホールドより 4 倍以上高価だが、Wescast のステンレス鋼製品の成長が続く市場を予測する。高性能市場の主要競争相手は、管状ステンレス鋼製の組立てマニホールドである。しかしそれらは高価であり、鋳造マニホールドと同じ耐久性はない。

もう一つの利点は、自動車業界では“NVH”として知られる騒音、振動及び不快さを下げる能力である。運転者の要望はよりスムーズでより静かな乗り心地であるから、NVH を防ぐことはマニホールド設計者にとってますます重要な考慮すべきことである。

7 kg でこの鋳造マニホールドは通常の鋳鉄マニホールドより軽い、管状マニホールドより重い。しかし Wescast は重量を減らすために、もっと薄肉のマニホールドを作るように努力している。その代り温度は下がる。

1.5×10<sup>6</sup>km まで使えるように製造されているが、使用済マニホールドはスクラップとして製鋼工場に売ることができる。

LeVan は Wescast の鋳造ステンレス鋼マニホールドの市場は毎年 100 万~200 万単位成長し、北米全体の市場は 23~24×10<sup>6</sup> 単位になるだろうと考えている。GM との取引は Wescast の年収を \$14×10<sup>6</sup> 増やすと期待される。マニホールドは会社の Stratford 工場で鋳造され機械加工される。そこに Wescast はステンレス部品の量産のために生産能力と人員に \$8×10<sup>6</sup> 以上を投資中である。

Wescast は 3 鋳造工場と 3 機械加工工場を操業し、年間約 10×10<sup>6</sup> 鉄マニホールドを生産している。現在、ハンガリーに欧州市場用にジョイントベンチャーの鋳造工場を建設中である。

## 溶媒回収が容易になった 保守不要の反応容器は耐食ステンレス鋼を使用

接着剤の製造は溶媒残渣を生ずる。これらは最初反応容器内の活性炭床に吸着してリサイクルされる。次に活性炭床に蒸気を通して溶媒を回収する。もし反応容器がうまく働いたら、溶媒の98%までがこの方法で回収できる。

ニュージーランドの接着剤メーカーはこの目的のために炭素鋼の反応容器を約5年間使用した。この反応容器は内部腐蝕の結果、継続的保守と修理を必要としたために、操業成績は悪かった。炭素鋼製シェルと吸収剤の活性炭を支えるTi製トレイとその間にガルバニ腐蝕が起った。

契約の入札を決めた地方会社のWeldtrade Engineering Ltd. は新しい反応容器の製造を始めた。低C高MoのNi系ステンレス鋼S31683製のWeldtradeの反応容器は、もっと長期間、殆ど全く保守不要で操業できるだろう。

化学工業用Ni合金反応容器の製造市場に進出することは、特に軟鋼だけの仕事の経験しかない小さな会社にとっては、大変な仕事である。

技術援助を与えたオークランドのNiDIコンサルタントLes Boultonは技師Ronald Kinghamと彼のチームは高度に専門的な方法で仕事をしたと言う。“彼らはステンレス鋼の正しい製作を理解する重要性を学び、見出したことを確認するステップをとり、作業者を正しく訓練し、確実に良い仕事をするようにした”とBoultonは言う。

“彼らは良い計画はこのような仕事をうまくする鍵であることを証明した。彼らは前もって科学及び工学的に必要なことを極めて良く理解し、多くの詳細なCADをした”と彼は言う。

12×3mの容器は操業中に低応力を受けるので、100kPa、90°Cで操業するように作られた。それは30年間連続操業するように設計されているが、Weldtradeは50年多分もっと長い期間操業できると信じている。

## 水精製システムはステンレスに頼る 海底石油・ガス採取用プラットフォームの厳しい環境に耐えるように設計された合金

人間や自然があなたに向かって投げつける物に対して身構えねばならない時には、最善の物だけが役に立つだろう。世界中で使用されている水精製系のメーカーであるカナダ London, Ontario にある Purifics Environmental Technologies Inc. にとって、それは優れた耐食性を有する高 Ni・高 Mo のステンレス鋼を意味する。Purifics は廃棄物捨場や工場跡地の地下水からガソリン・溶媒・PCB・染料及びドライクリーニング液のような汚染物質を除去する一つにまとめられた直立の自動化された装置を設計し組み立てている。水はデッキにカードのように積層された装置をポンプで通される。層の数は精製される水の量により決められる。ステンレス鋼管は注文製作のステンレス管状反応器を通して水を循環する。反応器は汚染物を破壊する紫外線を用いる特殊の装置が含まれている。

汚染水は一般に普通のオーステナイ系ステンレス鋼の表面に孔やあばたをつくる塩化物を含み、金属を2週間の短期間で破壊できる化学反応を引き起こす。“一旦腐蝕が始まると、それを止めることはできない。もしそれが木材なら白ありが食べて孔をあけたと考えるだろう”と応用マネージャー Tony Powell はその腐蝕過程を言う。

“我々は高純度水を作っている。それ故、我々の建造材料は重要である。もしあなたが生産工程に使用するか、環境に排水するか或いは飲料水用に高レベルの純度を得ようとするなら、連続状態或いは設備能力をひっくり返すようないかなる物も用いることは望まないだろう”と Purifics の社長で技術者の Brian Butters は言う。

Purifics は耐食性のために 18%Ni, 20%Cr, 6%Mo を含む S31254 ステンレス鋼を用いている。この合金は海底石油・ガスのプラットフォームでみられるような厳しい海水環境に耐えるように開発された。

より高価な Ni-Cr-Mo 合金は塩化物孔食に抵抗性がある。海水や道路に撒いた塩分を含む融水がシステムに入る可能性がある場合は、Purifics はたとえ水は塩化物がなくとも装置の耐久性と保守フリーを保証するために、しばしばその合金を選択する。“これらの系は 25~30 年の寿命があり、ステンレス鋼であなたは高い信頼性と長い寿命を得た”と Powell は言う。例えばテキサスの廃棄物捨場で操業している系のこのステンレスは、塩分を含む汚染水を5年間処理しているにも拘わらずなおきれいである。

Purifics は塩化物のない水を処理する管理された工場環境では、S30400 或いは S31600 ステンレス部品を用いる。防食のみならずステンレス鋼は広範囲の pH に耐えることができ、Purifics が望む紫外線と化学吸着に対する抵抗性がある。

## 問題は解決された 連続鋳造技術が8~15%Ni含有Cu合金の偏析除去を助ける

金属の熱処理における小さな変化が、その機械的性質に大きな違いをつくることがある。この適例を次に述べる。約30年前、米国のベル研究所でSnとNiを含む数々のCu基合金の実験をした。その目的は高強度と海水に対する耐食性の両方を有する合金を開発することであった。これらの合金は現在C72700、C72900及びC96900として知られている。

その仕事は技術的に成功したが、ベルはその合金を商業用に用いることができなかった。その理由は十分に大きなビレットが合金成分の過剰な偏析なしで鋳造できなかったことである。この偏析は必要な強度と耐食性の達成を不可能にする。

現在、もう一つの米国の会社Brush-Wellmanの冶金屋がこれら合金の大きなビレットの偏析防止方法を見出した。そしてそうすることで、ずっと改善された摩擦学的性質を有する新しい耐摩合金群が生まれた。会社はそれをToughmetと名付けた。Brush-Wellmanの成功の基礎はCastech Inc.により開発され特許となった連続鋳造技術であり、それに対しBrush-Wellmanは全世界の独占的ライセンスをもっている。

連続鋳造の間に“スピノーダル分解”として知られるプロセスが起こる。これは微細結晶粒の合金ではもっと普通の粒度であるミクロンよりも小さい、オングストロームオーダーの粒度の合金成分の均質でミクロ組織的な再規則化である。

合金成分の殆ど原子レベルの再配分の結果、非常に硬度・耐摩耗性・機械加工性は増大した。合金は高度な仕上げまで研磨でき、型材として十分に硬く、強く、靱性が高い。それらは又、このような高い強度の材料としては低い鋼との接触摩擦係数をもっている。射出成型型の応用で、増大した熱伝導度と減少したサイクル時間は付加的利点である。

軸受け製造においてSnは普通Cuに加えられる。しかしNiの添加はスピノーダル分解によって硬度を増大する。その結果できた合金は、はっきりしない潤滑剤でさえも膜の破壊、焼付き、かじりはなく、各種の極端な軸受け条件下でも性能が良い。

Toughmetは径600mm×長さ6mの大きさのビレットに連続鋳造される。ビレット重量は14tで、熱間圧延又は押し出しにより塑性加工される。

この摩耗・潤滑関係合金グループのもう一つの合金は、特許の方法で処理されてプラスチック射出成型型を作る理想的材料になる点でToughmetと異なるMold MAXXLである。

射出形成に加え、これらの合金は軸受け・軸受け筒及びその他の部品、液圧ポンプと輸送・採鉱・穿孔器具用モータにおける異なる金属部品の代替え並びに耐食性が重要な各種の海洋関係の応用に用いられる。

## 空気清浄化

### 韓国の火力発電所の有害排ガスを減少する大きな計画は2015年までに76FGD装置を建設

1970年代初め以降、国営のKorea Electric Power Corp. (KEPCO)はアジア太平洋地域で最大の電力開発計画の一つを実施してきた。その計画は韓国の速い経済成長のペースに合わせて、電力の供給を確実にするために計画された。

毎年、新しい発電所が建設されるので、新発電所による大気汚染量は多くなった。それで1990年代初め、政府はKEPCOの排ガスの減少を要求する環境保護規則を可決した。これは国内の全ての石炭火力及び石油火力の発電所にFGD装置を設置することで達成されつつある。各石炭火力発電所の公称出力は平均50MWで、石油火力発電所は200~300MWの範囲である。

既存火力発電所及び建設中の新発電所を含め、FGD設置の仕事は完了に約20年かかるだろう。4基は建設中であり、KEPCOは9発電所に33FGD装置の設置を完了した。計画は2015年までに更に39基の完成を要求しており、最終的には操業するFGD装置の全数は76基になる。

各発電所に適合したFGD装置の数は、プラント建設によって変わる。大部分は石炭火力発電所である新しい火力発電所は、普通各ボイラーにFGD1基、各煙突にFGD2基が建設される。

FGD装置はボイラー排ガスからSO<sub>2</sub>を除く。そのプロセスでFGD装置の吸収塔部分で石灰石スラリーがボイラー排ガスに散布される。入ってくるガス温度約120°Cで石灰石とSO<sub>2</sub>は反応して石膏を形成し、炭素鋼の使用ができない高度に腐蝕性環境をつくる。残りの排ガスは煙穴を通り大気中に放出され、石膏は建設業で用いられる原料として回収される。

維持費を最小にするために、KEPCOはFGD装置のライニングにNi含有合金を用いている。15~20%Niを含むスーパーオーステナイトステンレス鋼S34565と57%Niを含む高度に耐食性のNi合金N10276がスプレー型FGD装置の内部の湿/乾ゾーンに用いられる。この材料の厚さは6~7mmである。

“米国・英国・ドイツ及びその他の国における電力会社はFGD装置にゴムやその他のライニング材料を使用後に問題があった。それで我々は維持費を節約するために、高Ni合金を使用することを決めた。Ni材料の厚さはFGD装置の寿命にとって重要である。装置は大きな補修なしで発電所の寿命と同じ30年寿命で設計された”とKorea Institute of Science and Technologyの金属部の研究者Dr. Kyung Tae Hongは説明する。

KEPCOの子会社Korea Power Engineering Co.と米国のParsonsはFGD装置を設計し建設材料を選定した。FGD装置の材料は温度と装置の異なる部分において予想されるガス流により選定された。徹底的熟慮の後にKEPCOはスーパーオーステナイトステンレス鋼と約6%Ni含有の2相ステンレス鋼を粉碎石灰石-水スプレーに対し平均6~7mm厚の板を用いることを決めた。N10276は特定の部品や付属品に用いられる。例えば上部空気ダクト部分は、6mm厚の炭素鋼素地の上を1.6mm厚のN10276でクラッドされる。

“世界中の誰もFGD装置を30年寿命で計画をしなかった。KEPCOはピーク電力発生が必要なために、発電所のスイッチの開閉をしばしばするので、FGD操業条件は難しい”とDr. Hongは言った。

“3年は完全なアセスメントには十分な時間ではないが、FGD装置の本体はこれまで大きな問題はなかった。KEPCOは余分の発電能力をもっていないから、建設費は高いが長い寿命が重要である。多くの会社がFGD装置の建造を競っているから、価格は重要である。仕様と基本設計はKEPCOによりなされ、詳細設計は契約者によりなされる”とDr. Hongは言った。

各種の専門家がFGD装置の建設にかかわっている。例えばJung Won Engineering Ltd.はNi及びNi合金クラディングを専門とし、KEPCOの8発電所の20以上のプロジェクトに加わってきた。この会社は煙穴内部の煙道、ダクト、ミスト除去器及びダクト冷却器のクラディングをしてきた。Jung Wonの社長Ju Yong Jungによれば、会社はKEPCOとN10276を全部で544t用いて38,880m<sup>2</sup>をクラッドする契約をもっている。

“接合部は最も弱い部分であるから、溶接は重要である。成功は溶接技能と方法にかかっている。多くのNi合金は容易に溶接されるが、もし溶接が完全でなければ接合部は腐蝕損傷の決定的な個所になるだろう”とJungは言った。

KEPCOはスプレー型とバブル型の2型のFGDの装置を建設してきた。2基のバブル型装置を設置したYongdong発電所を除き、スプレー型が全ての発電所で建設された。バブル型装置はボイラー排ガスが石灰石スラリー中をバブルとなって通過する。一方、スプレー型装置はボイラー排ガスが石灰石スプレーを通過する。

圧延接合クラッドと電気クラッドの2種のクラディング法が用いられる。Jung Wonにより開発され特許となった電気クラッド法N10276を用いるとき、圧延接合法と比較してコストを約40%下げる、抵抗溶接接合を用いる。

“抵抗溶接は上部ダクトとFGD装置の組合わせ煙穴に適している。煙穴とダクトに我々はN10276クラディング材を採用し1.6~2mm厚さの抵抗溶接を用いた。我々は6~8mm厚さの炭素鋼素地のクラッドに1.6~2mm厚さのN10276を用いる。N10276はその耐食性で用いられ、又炭素鋼はその構造強度で用いられる。1.6mmのクラディング厚さは装置上部を30年もたせるのに十分であり、一方より下部の湿った部分は異なる条件なので、クラッドではなく6~7mm厚さのN10276合金だけを用いている”とJungは言った。

装置は毎年検査され、3年毎に詳細なチェックを受ける。更にKEPCOはFGD装置をオーバーホールのために5年毎に休止する計画である。

FGD装置の建設時間は発電所の立地により10~12ヶ月かかる。“FGD装置は環境を浄化している。そしてKEPCOは短時間で76基のFGD装置を設計し、保守不要で金を節約できるために、この系を誇りにしている”とJungは言う。



## 83年間使用されたカナダケベックシティの橋が改修 Ni合金鋼で高い強度と耐久性及び低いライフサイクルコストが得られる

100年前、当時世界一長い片持橋梁であった橋の建設契約が許可になった。それはカナダ Quebec City の潮水が入ってくるセントローレンス河にかけられた高さ45m、長さ990mの橋であった。

1907年、風で一部建造された構造物は崩壊し、建設作業者が死亡したので、設計者は計画の振り出しに戻った。1913年に作業者は新しいずっと強い橋の構成部品の組立てを始めた。センタースパンを持ち上げて正しい位置に置こうとする間に、それがローラーから河に滑り落ちた、もう1件の不幸な出来事のために、1年遅れて1917年に遂に完成した。

ケベック橋と建設にまつわる悲劇はカナダの民間歴史の一部である。多くの人々が知らないことは、その橋は大量のNi3.25%を含むNi合金鋼が使用されていることである。上部構造に用いられた60,436tの鋼の約1/4(14,800t)はNi合金鋼或いは1917年に呼ばれていた“Ni鋼”である。

現在、83年間使用された後、ケベック橋は\$60×106のコストで完了するのに10年を要すると予想されているプロジェクトである修復工事がなされつつある。それはQuebec Cityとセントローレンス河の南岸の間を結ぶ重要な鉄道と高速道路の役をしている、その橋を取り替えるコストよりもずっと低い。

修理は腐食した部材を取り替え、新しく塗装することが必要だろう。このプロジェクトを管理しているカナダ政府の構造技術者によれば、Ni鋼部材は炭素鋼部材よりもずっと良い状態である。“1917年以降、この橋のNi鋼部材は触られていないことは確かである”と彼は言う。

しかし、原設計者はNi鋼の海洋雰囲気における耐食能力は知っていただろうが、耐食性は彼らの大きな関心事ではなかった。カナダのDepartment of Railways and Canalsより出版された1919年の文書に、“Ni鋼は全体として構造物の重量を減らす効果があるところはどこでも使用され、それはよりよい高い値段にも拘らず、全コストを下げる要因となるだろう”と著者は書いている。Ni鋼のコストがいくら高かったかは書かれていないが、“Ni鋼が炭素鋼に代って使用された場所は、完成ポンド当たり3.25セントの割増し金が支払われるだろう”と述べている。

Ni鋼対炭素鋼の比強度を決めるために、鋼製梁・支柱・リベット・輪付き棒について広範な試験がなされた。これらの試験結果として、目の子算が採用された。“引張りと圧縮の両方で、全てのNi鋼橋梁部材に対し許容される単位応力は、同じ炭素鋼材の値より40%高いと決められた。”設計者はずっと強度の高いNi鋼の使用で、橋の最大単位応力対死荷重単位応力の比を最大限に増加することができ、長いスパンの橋が建設された。

橋の真中の長さ195mで4,500tの吊りスパンは、ほとんど全くNi鋼でできている(図参照)。Ni鋼は優れた強度対重量の性質のためだけでなく、吊り上げの間のスパンのフレキシビリティの範囲が増すので好まれた。片持ちアームの部材の大きな割合がNi鋼であり、それは各アーチアームの圧縮斜材ともう一つの構成部品にもあてはまる。

多くの他のNi鋼の部品が、例えば支柱のトップのトラス弦材リンク、吊りスパンを片持梁アームの端に連結するハンガー並びに輪付き棒に使用されている。

1,500tのピンの一部、直径が200~760mmの範囲で重量が各5.5tのピンはNi合金鋼であった。Ni鋼は重量減のために60m高さの走行クレーンにさえも用いられた。その結果は、83年間も良く持ちこたえた完全に機能的な橋であった。

## 新材料を見出す 明日の冶金屋が直面するいくつかの問題

NiDI は提案された 21 世紀の“水素経済”は、今大学で研さん中の多くの冶金技術者と材料技術者にとって大きな材料関連の問題になると信じている。

水素製造でもし天然ガス(メタン)改質装置用新材料が利用できるようになれば、米国だけでも何億ドルもが節約になるだろう。例えば、もしこれらの石油化学工場で現在より 200°C 高い温度で操業できれば、大きな節約が実現できるであろう。このような操業は、より効率的なエネルギーの使用により、天然ガスの消費はより少なくなるだろう。改質装置で現在用いられている材料は、高い炭素活量と低酸素の状態において高温で起きる、迅速でしばしば破局的な浸炭の一形式である“metal dusting”をうける。

金属粉化に抵抗性のある材料を開発するためには、もっと研究が必要である。既存材料は特殊ステンレス及び Ni 合金が含まれる。それでもなお、研究者は表面処理と共に新 Ni 含有組成の研究を続けている。その例は Ni-Al 系のような各種の金属間化合物が含まれる。不幸にも、全てこれら材料は作るのが問題になる性質がある。金属粉化は合成天然ガス工場、石炭液化及び、炭化水素を燃焼するヒーター並びに直接還元鉄のような冶金プロセスさえも含む、多くの他の系に影響を及ぼす。

金属粉化だけが高温の問題ではない。その他の塩素やふっ素のような腐食物を含む高温環境(500°Cかそれ以上)は、性能が良く、更に費用対効果の良い材料を必要としている。これらはこれから開発されなければならない。理想的には、このような材料は高耐食性のみならず、高い延性・強度及び製造し易しさをもっていなければならない。

合金研究は、たとえ各種の技術が今なお開発中であっても、燃料電池の電解液を入れるのに適した金属を見出すことが必要とされている。燃料電池の安全性と信頼性が消費者に早く受け入れられるために必要であろう。提案された水素経済は、20K で液体水素を長距離輸送するために安全な材料を必要とするだろう。たとえ塑性加工された Ni 含有ステンレス鋼が適していても、溶接は延性が残っていなければならない—これはさらにもう一つの工学的問題である。そして直接関連はしなくも、超電導材料のさらなる開発が必要である。

これら多くの新材料の開発に使用され続けるだろうが、Ni 材料自身が自分の冶金的問題に直面している。ラテライト鉱の湿式製錬を考えてみなさい。これらの腐食性で研磨性の湿式法は硫酸を用い、高温高圧で操業される。処理条件の小さな変化が、用いる各種材料の耐食性を基本的に変えることができる。これらのプロセスに用いる最も経済的な材料の決定がなされるためには、合金開発を含め多くの研究がなお必要である。

もう一つの有望な技術は、有害廃棄物の破壊に用いることができる、超臨界水酸化(SCWO)である。SCWO は又、高温高圧で作用する。研究者はこれらやその他の系の腐食性の制御法を理解しようとしており、材料のコストには、常にいかに広範囲にその技術が使用されるかを定めることができた反応が入っている。

殆ど全ての工業において、高耐食性を有する高強度ステンレス鋼に対する、必要性がある。このような材料は、厳しい腐食環境で使用されるポンプとバルブ、ファスナー及び各種の構造部品に用いることができた。6%Mo ステンレス鋼と同等の耐食性を有し、最小降伏強度 700MPa の合金が必要とされる。

スーパー 2 相合金は最小降伏強度は 600MPa より低いが、この要求を満たす最も近いところにある。現在の析出硬化ステンレス鋼は強度はあるが耐食性はない。もし上記合金を見出すことができれば、完全に溶接可能な高強度高耐食性の材料は、圧力容器と配管系で需要があるだろう。

NiDI はこれらの材料問題の解決をしようとする研究を支援し、情報・技術援助及び教育を材料指定者を助けるために供与する。

これら及びその他の問題と取り組むために、学生は生産と加工の全ての面に関する広い材料の基礎知識が必要である。基本的ゴールは技術的プロセスを経済的で環境的に安全にする、高性能材料を見出すことに違いない。

## “グリーン”な機械 新しい無毒なドライクリーニング溶媒は古い装置では困難である

メーカーがドライクリーニングプロセスから潜在的に有毒な排出物を除く問題に取り組んでいるので、ドライクリーニング機械のステンレス鋼の使用量は上昇中である。伝統的にメーカーはその機械を亜鉛引き鋼部品で製造し、最近まで New Jersey にある Multimatic USA が、北米における大部分がステンレス鋼である機械の唯一の供給者だった。その“Shop Star”機械は、蒸留凝縮器及び若干の部品のような熱や腐食性成分により多くさらされる部品は S31600 で作られているけれども、殆ど全て S30400 ステンレス鋼よりできている。

しかしドライクリーニング業で最大のフランチャイズ及びライセンスをしている会社の一つである Dryclean USA は、殆どステンレス鋼である環境に優しい機械の生産の発表により市場をゆさぶった。Dryclean USA の一部門である Miami にある Steiner-Atlantic により製造された“Green Jet”は、GE により開発された新しい無毒な溶媒を利用するように設計されている。

約 15 年前、北米のドライクリーニング業界では閉鎖系の dry-to-dry 技術が評判になった—そしていつかは規則により強制になるだろう。閉鎖系は溶媒蒸気の排出を著しくカットしたが、熱によって刺激された蒸気と水蒸気が分解して機械の中で塩酸を生成した。次にその酸は亜鉛引き鋼を腐食した。

主要部品を 2～3 年毎に取り替えるよりも、メーカーは腐食を受けた部品に対しオーステナイト鋼を使用し始めた。Steiner-Atlantic の副社長 William Becker は言う。

その点から、ステンレス鋼部品の市場は成長した。北米のドライクリーニング店の 85% 以上で使用されている溶媒であるパークロールエチレンが発癌物質と考えられ、漏れると、有害な土地にし、大気汚染物質であるとして、米国環境保護局がこれをリストに加えた時、耐食性材料はあるメーカーにとり特に魅力的となった。

その決定はメーカーが環境に優しい代替溶媒を研究するのを助長した。しかし、その新しい溶媒は通常の機械では必ずしも常にうまくは働かなかった。

例えば Exxon は DF2000 という名称の合成炭化水素溶媒を開発した。しかし、その新溶媒は可燃性で機械の外殻に用いられる亜鉛引きブラック鉄は多孔性であったため、Steiner-Atlantic は Green Jet マシンの最初のラインでブラック鉄をステンレス鋼で代替して対応した。

Green Jets の最新の型は GE により開発された“Green Earth Chaning System”を用いている。その溶媒は無毒で化学的に中性であり、脱臭剤・シェービングクリーム及び化粧品に用いられる改良液体シリコンである。

しかし Green Earth 系は環境には優しいが、装置には難しい。溶媒は純度を維持するために、ステンレス鋼製タンクに貯えねばならない。Steinar-Atlantic は塗装された表面の機械でよく起こるぶつかりやひっかきによる問題を除くために、ステンレス鋼のフロントパネルを組み入れた。“我々は目的の露出と外観次第で Ni, Cr の%の変化した各種のグレードのステンレス鋼を使用する”と Becker は言う。

Stein-Atlantic は Green Earth 技術を試験する原型を開発した。生産は 2000 年 11 月に始まると期待された。“これらの新しい機械で米国及び世界中のドライクリーニング屋は、一方で消費者のために効率的に環境に優しい製品を作りながら、全ての環境規制に対処できるだろう”と会社はプレスリリースで言った。

## 電気自動車の振興

### カナダの2大都市の通勤者を試乗に招待

これはケベック電気車両実験センターが無公害乗物をカナダの都市に紹介し、このような自転車がカナダの道路を合法的に乗れるように、関係法律の議会通過に圧力をかけるために考えられた計画の一部である。トロントとモントリオールの交通量の多い地域の数店で、電気自動車が入手できるようにした。少なくとも2モデル—本田の“Racoon”とEPSの“Electron”は充電可能なNi-Cd電池を使用している。

## NiMH電池のリサイクリング

アトランタにある非営利サービス組織である Rechargeable Battery Recycling Corp. は既存の Ni-Cd 電池のリサイクリング計画を、Ni 金属水素化物電池と Li イオン電池も含めるように拡大した。1995年に計画を開始以来、米国・カナダでリサイクルされた Ni-Cd 電池の全量は、年間  $2.7 \times 10^6$  ポンドから  $3.5 \times 10^6$  ポンドに増大した。回収された電池は米国ペンシルバニアにある Inco の子会社の Inmetco に出荷される。リサイクルされる電池の量は増大したが、毎年使用済電池がどれ位埋立て廃棄されているかは確かでない。廃棄される量を減らすのが最終目標である。

## 南阿ステンレス協会賞

NiDI がスポンサーとなっている南阿ステンレス協会のステンレス賞が製品開発部門では南阿 Centurion の Hazleton Pump に授与された。これは肥料メーカーで使用されている高容量・低ヘッド垂直スピンドルポンプで、りん鉱石・硫酸・りん酸の 80°C のスラリーを 500l/s で循環させるりん酸スラリー反応槽用のポンプである。濡れる鑄造部品に Ni-Cr 合金 N08028 鑄物を用い、そのほかの全ての濡れる部品は N08904 ステンレス鋼を用いた。

## Dr. J. F. Thompson カナダ鉱業殿堂入り

元 Inco Ltd. 社長で Dr. John Fairfield Thompson (1881-1968) は1月トロントで Canadian Mining Hall of Fame に入ることになった。彼は1956年 Manitoba 州 Lynn Lake 地域で Ni 鉱山を発見し、採鉱・製錬・精製の総合事業所を建設した。1956年 Inco は町名と事業所に Thompson の名前をつけた。彼の Ni 業界に対する貢献は本文参照のこと。

## ステンレス鋼の建築への応用

NiDI は北米特殊鋼協会 (SSINA) と共同でステンレス鋼の建築の外装・内装への応用に関する 54 報文とステンレス鋼の仕上げ・組立て・機械加工・溶接及びクリーニングに関する詳細な記述並びに北米のステンレス鋼の建築関係製品のメーカーに関する Architecture Buyers' Guide が含まれている CD-ROM を作成した。希望者は NiDI にインターネット又は文書で申込みれば無料で入手できる。

## NiDI 技術資料

Stainless Steel : An Introduction to Their Metallurgy and Corrosion Resistance      NiDI Reprint Series  
No. 14056, 12 頁 By Arthur Tuthill and Roger Covert  
食物・飲料産業用のステンレス鋼に関する技術資料である。詳細は本文参照。