

報 告

JIMIS-2 金属と水素国際シンポジウム

南 雲 道 彦*

昨年 11 月 26 日から 4 日間、群馬県水上温泉で金属学会主催の表記国際会議がひらかれた。これは金属学会が 3 年ごとに主催する国際シンポジウムの第 2 回 (JIMIS-2) である。(JIMIS-1 は マルテンサイト変態について 1976 年に神戸でひらかれた。)

この会議が企画され、論文が募集された時は、ちょうど円高の絶頂期で、また水素の国際会議は毎年のようにひらかれることもあつて、はるばる日本まではたして何人集まるかと懸念されたが、結果的には 240 人の出席者のうち約 80 人、164 編の論文のうち 57 が海外からで、国際会議として非常に意義があつた。当初、日本では産業界からの参加が多いだらうという予想であつたが約 30 人とどまつた。外国からは企業の参加は研究所以外にはなかつた。これは International Advisory Committee の席上の分析ではやはり企業の経済的な問題で海外出張がしにくいことに原因があるであろうということである。(アメリカではカナダに行くにも予算的には一般費用外になるとのこと。また企業では NSF のような政府援助を受けられない。) 国内でも参加費と出張費を入れると出費は馬鹿にならない。

水上で会議があつたということは、このような面では不利であつたかもしれないが、水素に集中して泊りこみで行つたこの会議は非常に好評であつた。大広間に坐つて食事をし、大浴場に一緒に入つたりしていると自然に仲間意識が生まれてくる。都心のホテルや会議場の雰囲気とは一味違うムードである。国際会議の大きな目的の一つが、研究者同志の親密さを強めることにあるとすればこの企画は大成功であつた。このスタイルを決断された鈴木平組織委員長、これに伴う四六時中の負担を一手にひきうけられた木村宏実行委員長の御苦勞は大変であつたが、それに値した成果であつたといえよう。

会議は開会式における四つの総合講演のほかに、以下の分野について活発な討議が行われた。() 内は論文数)

1. States and structures of hydrogen in metals (14)
2. Effects of hydrogen on physical and chemical properties of metals and alloys (7)

3. Adsorption, dissociation and diffusion of hydrogen atoms (53)
4. Effect of hydrogen on mechanical properties of metals and alloys (11)
5. Hydrogen embrittlement (33)
6. Role of hydrogen in stress corrosion cracking (14)
7. Effect of hydrogen on the process of welding (9)
8. Nature, structure, and hydrogen storage application of metal hydrides (14)

これにみられるように水素について重要な問題がほとんどとりあげられ、最先端の状況の整理ができた。ただ残念だつたのは論文数が多く、会場を二つにして(第一日は三会場)平行せざるを得なかつたことである。この会場で唯一の不評をかつた点である。水素の問題は、その金属中の存在状態や拡散、格子欠陥との相互作用などの基本挙動と、割れやぜい化などの実用的な特性とを総合的に考えることが今後の展開に不可欠と思われるだけに残念であつた。会場を一つにして会期を長くするか、あるいは論文数をしばればすむことではあるが経済的な負担が大きくなる。

それぞれの分野について概要をまとめることは、紙数もないしまたその任でもない。そこで個人的な関心と多少の偏見をお許し願つて、水素ぜい性に関連した分野から感じたことをのべてみたい。たしか一、二年前に鈴木平先生が水素ぜい性の問題は近い将来に転機をむかえると予言されていたように思う。この会議でそれがあつたかどうかは別にして、水素ぜい性については従来の conceptual な段階から実証的な研究に進み、それに伴つて実体をふまえたメカニズムの解明が行われつつあるように思われる。その中核をなすのに水素ぜい性と塑性変形との関わりでの解明である。

この観点の直接的なきっかけとなつているのは破面の解析で、純鉄の水素ぜい化破面が {110}, {112} のすべり面に一致しているという観察である。この特徴は焼も

* 新日本製鉄(株)基礎研究所 理博

どしマルテンサイト組織の高張力鋼でラス境界に沿って割れが生ずる場合にもあてはまる。そこで問題はこのすべり面に沿う破面が水素の存在に特有な破壊過程を意味するのか、あるいは単に微小割れが延性破壊的に伝播することに起因するののかということである。

水素原子が鉄中で持つ作用の一つとして、鉄原子間の結合力を弱めるという考えがある。これはいろいろな方向に展開できるが、塑性変形に結びつけて破面形成にたいする第二の解釈に適用すれば、水素の存在によつてすべり面上で局所的な変形が促進されると考えればよい。この会議でもこの立場にたつ議論はあつた。

これにたいして、この会議ではつきりした形をとつてきたのは塑性変形が進行する過程で水素が関与してクラックの形成が生ずるという、いわば dynamical なモデルである。この考えには水素と鉄の結合力和との関係を仮定する必要はない。実験事実としては、水素添加しながら変形させた時に、転位セルの境界に沿うクラックの形成や、破壊形態があらかじめ水素添加しておいて変形させた場合と異なるというような観察がある。鋼では炭化物や非金属介在物などの第2相の界面はく離があるので、それらも考慮した展開が必要であるが、水素ぜい性にたいして塑性変形が本質的な要因として寄与するという意味で新しい方向づけである。

バナジウムのような水素化物を形成する金属の水素ぜい性については明快な観察があり、その定式化が行われた。鉄では水素化物を作る実証はないが、もし水素原子が特定の、たとえば $\{110\}$ 面に沿って規則的な配列をすれば、水素化物を作つた場合と類似の過程で割れが進行し得るということが指摘されている。いずれにせよ、直接的にメカニズムを解明するための観点がしぼられてきたということができよう。

実用鋼、とくに高張力鋼では粒界割れをとまなう水素ぜい性が重要であり、旧オーステナイト粒界への不純物元素の偏析との関係が注目されている。その代表的な場合は焼もどしぜい性との相関である。本会議にあらわれたかぎりでは、考え方としては不純物元素の粒界偏析の

効果を粒界凝集エネルギーに結びつけたもので、水素の存在で粒界割れの機構が質的に変わることはない。いつぼり、粒界の微細析出物がぜい化に大きな影響を持つことが示された。析出物の作用のメカニズムは不純物元素の偏析をとまなうためのものかもしれないがまだはつきりしない。焼もどしぜい性と水素ぜい性とは定性的には平行しているが、水素ぜい性の方が粒界性状により敏感である。水素ぜい性での粒界破面は焼もどしぜい性の粒界破面と様子が異なるという報告があつた。決め手の実験がなかなかむずかしいが、水素ぜい性での粒界割れメカニズムについても近く新しい展開が行われるような感じである。

実用鋼の水素ぜい性の評価に破壊靱性の評価法がよく適用される。水素ぜい化すると K_{Ic} が低下するが、実は水素の存在で slow crack growth が早期におこるためだという観察が報告された。実用的にもまた破壊メカニズムの点からも重要なことのように思える。

評価法に関連していえば、応力腐食割れに陽極溶解と水素割れの二つの要因があることはよく知られている。この際に、両者をあまり分離して考えることは危険で、まず虚心に事実を明らかにし、その過程を追求する研究の進め方が大切だという指摘があつたが同感である。ただ実際には応力腐食割れの研究を質的に進めるには手づまりの段階にあるという印象を持つ。

水素ぜい化現象として論文が多くなつてきているのは水素ガス環境におけるぜい化である。これはもちろん水素を試料に添加する実験手法として用いられているものもあるが、水素ガス環境中での切欠強さ、低サイクル疲労あるいは高温水素中での水素アタックなど実用的な問題の背景がある。従来、水素ぜい性の研究対象には AISI 4340 鋼に代表されるような強靱鋼が多い。しかし低強度鋼では与えられた外部応力のもとで塑性変形をしやすく、組織も違うから強靱鋼では表面に出てこない現象がおこる可能性がある。

その観点で、A387 鋼の疲労クラックの伝播速度が水素環境のために増加する段階が2種類あるという指摘は



International Advisory Committee の方々、左から Prof. A. W. THOMPSON, Prof. H. K. BIRNBAUM, Prof. P. AZOU, Prof. G. ALEFELD, 鈴木 平教授, 木村 宏教授, 松本哲也事務局長。

興味をひいた。応力振幅が小さく、クラック伝播速度の小さい領域で水素の効果がいちじるしくなり、周波数依存性を持つようになる。腐食疲労には、応力腐食割れと疲労とが重畳するいわゆる応力腐食疲労と、環境の影響をうけて K_{Iscc} 以下の応力条件でおこる真の腐食疲労とを区別する必要があるという指摘である。A387 鋼で見出された後者の場合には転位による水素の輸送が関与すると考えられている。

いつぼう疲労試験ではないが水素ガス環境中でクラックの伝播速度の Kinetics をていねいに調べた実験で、試料表面での反応がクラック伝播を律速していることが示されている。予想されていることではあるがいろいろな実験結果を比較したりする場合にも注意すべきことである。

鉄の塑性変形におよぼす水素の影響については、今までも活発に議論されている。試料の純度の効果が大きく、高純度鋼では水素によつて軟化が、不純物が増すと硬化がおこることは、炭素を入れた単結晶での実験からも支持されたといえよう。水素の作用を示す顕著な現象として注目をひいたのは高純度鉄単結晶の 200 k での変形特性である。水素添加によつて容易すべり領域がいちじるしく拡がり、第Ⅲ段階の加工硬化の増大ときわ立つ

た対比が示された。この現象は水素の作用のメカニズムを追求する上で重要な手がかりになると思われる。

この会議で海外からの参加者が一様に感嘆していたことは日本の研究者の層の厚さである。質的にみても日本から非常にすぐれた研究が発表されたと思う。いまさら何をいうかとお叱りをうけるかもしれないが、日本の鉄鋼が技術的にはすでに世界をリードしていることは誰もが認めることではあるが、今回のような基礎的な分野では、少なくとも平均的には、後進性は残っている。その意味で今回の会議で自信がついたように思われる。

研究の層の厚さということは逆にいうと同じような問題に同じような手法でかかっている嫌いがなきにしもあらずである。しかし、量から質への転換は学問の場合にもあてはまることであろうし、また全体のレベルアップにも役に立つことであろう。一層の独創的かつ緻密な研究が世界的に要請されている。

会議の Proceedings が Trans. JIM の Supplement として最近発行された。論文の査読と討議を会期中にされた藤田英一編集委員長の御努力を特記したい。小文の不備をこの Proceedings で補つていただければ幸いである。