ガス被包アーク溶接用送給ガスの乾燥器について*

関口 春次郎** 益 本 功**

Desiccator of Supplied Gas for Gas-Shielded Metal Arc Welding*

By Haruziro Sekiguchi** and Isao Masumoto**

Abstract

It is necessary to use a supplied gas having humidity as low as possible for gas-shielded metal arc welding. But it is not always easy to get everywhere the recommended gas for welding, i.e. super-pure and super-dried gas charged into a specially treated cylinder.

The authors carried out experiments about drying of gas supplied from a cylinder with some desiccants: sodium aluminosilicate, activated alumina and silica gel. The dew point of the gas flowing out through a desiccator was continuously measured until the given amount of a desiccant broke. Carbon dioxide was used for the supplied gas.

The results are as follows:

- 1) Sodium aluminosilicate has a drying capacity larger than activated alumina and silica gel. The sodium aluminosilicate of 640 g warrants a supply of CO₂ gas under -25°C dew point for 112 hrs., i.e. 7 cylinders. The dew point of gas through the desiccant is under -40°C from the first cylinder to fifth.
- 2) Activated alumina and silica gel warrant a supply of only two cylinders of CO₂ gas under -20°C dew point through each desiccant.
- 3) An experimental formula was established for the relation between charged weight of sodium aluminosilicate and break-time.

1. 緒 言

ガス被包金属アーク溶接においては、溶着金属の水素含量に送給ガスの湿度が影響するから、送給ガスの水分含量はできるだけ少ないことが望ましい。このためには特別な乾燥処理をしたボンベに充填された水分含量の少ない、いわゆる超乾燥ガスを用いるか、ボンベから溶接頭に送給される途中でガスを乾燥するかの方法がある。後者の乾燥剤として活性アルミナおよびシリカゲルを用いれば、実験室的な条件（理想的な活性状態と導管に水分を含まない場合）では、送給ガスの露点をかなり低下できる。

しかしながら実際の溶接条件で一つの乾燥器がどれだけのガスを、要求される水分含量以下まで下げられるか、すなわち破過時間についてはいまだ明らかにされていない。換言すればボンベから送給されるガスは、一般の化学工業で脱水処理されるガスあるいは大気に比較して、かなり低い湿度を有している。しかし溶接の目的に、この送給ガスをさらに脱水して使用したい場合、このような低い湿度の範囲におけるガスの吸着脱水の実験

は少なく、従来の文献の各乾燥剤に対する諸数値を基礎にして乾燥器を設計することができない。

そこで著者らは、種々の吸着剤について、ボンベから一定流量でガスを送給乾燥する場合、破過時間と乾燥器の大きさ（吸着剤の量）との関係を明らかにするために実験および考察を行なった。

2. 実 験 方 法

一定容量の乾燥器の充填吸着剤を種々変えて、あらかじめ 1 l の水を注入したボンベに充填された液体炭酸（充填量 24 kg）を実際の溶接の場合と同様に、長さ 3.75 m のゴム導管を通じ流量 30 cfh で連続に送給し、乾燥器出口の炭酸ガスの露点を光電管式露点湿度計で連続測定し、乾燥器の破過時間および破過するまでに乾燥するボンベの本数を求めた。乾燥器の中には直径約 60mm 長さ約 240 mm のステンレス鋼製円筒があり、この筒内に吸着剤約 450~640 g が充填され、送給ガスはこの円筒を通過するようにした。

吸着剤としては結晶ゼオライト (Linde Molecular Sieves 4A)、活性アルミナおよびシリカゲルを用いた。Molecular Sieves は Fig. 1 および Fig. 2²⁾ に示すごとく特に湿度の低いガスの乾燥に効果があり、化学組成は一般式として $Me x/n [(AlO_2)_x(SiO_2)_y] \cdot mH_2O$ で表

* 原稿受付、昭和36年5月22日（昭和36年度溶接学会春季学術講演会において発表）

** 正員、名古屋大学工学部 Member, Faculty of Engineering, Nagoya University

Fig. 1 Water vapor adsorption capacity of various desiccants, at 25°C²⁾

Fig. 2 Dynamic air drying data of various desiccants²⁾

わされる。(x/n) は原子価 n の置換できる陽イオンの数, m は結晶水分子の数で, この結晶水 $m\text{H}_2\text{O}$ の脱離により Molecular Sieves としての優れた性質を有することになる。この Molecular Sieve は分子構造および吸着のメカニズムから一種の包接化合物と考えられる。現在, 市販されている A 型合成ゼオライトの実験式は $\text{Me } 12/n[(\text{AlO}_2)_2(\text{SiO}_2)_2]27\sim 30\text{H}_2\text{O}$ に相当する。本実験に使用した 4A 型は Me を Na にした脱水 Na-ゼオライトであり粒状 (14~30 mesh) である。

なお実験室の温度は 15~20°C の範囲で一定に保ち, ボンベから一定流量 30 cfh でガスを流出した。流量計付調整器 Regulator-Flowmeter は凍結しない程度に 500W 電球で時々加温した。

3. 実験結果

実験結果を Fig. 3, 4 および 5 に示す。Fig. 3 は結晶ゼオライト (sodium alumino silicate), Fig. 4 は活性アルミナ, Fig. 5 はシリカゲルの場合である。

○の実線は乾燥器出口ガスの露点を示し, ●および細点線は乾燥器を経ないで送給された場合, 換言すれば乾燥器入口の炭酸ガスの露点を示す。図中のローマ数字は, 吸着剤を含む乾燥器を通してガスを供給したボンベの本数を示す。Fig. 3 の結晶ゼオライトの場合は 3 本

Fig. 3 Dew point of carbon dioxide gas flowing through desiccator containing sodium alumino silicate (Linde molecular sieves 4 A) and gas flowing time

Remarks : —○ through desiccant
● no desiccant
III, IV, V... No. of cylinder

Fig. 4 Dew point of carbon dioxide gas flowing through desiccator containing activated alumina and gas flowing time

Remarks : —○ through desiccant
● no desiccant
I, II, III, IV... No. of cylinder

Fig. 5 Dew point of carbon dioxide gas flowing through desiccator containing silica gel and gas flowing time

Remarks : —○ through desiccant
● no desiccant
I, II, III, IV No. of cylinder

目からが記録してある。すなわち最初の 2 本は 3 本目と同程度の乾燥ガスが得られ, ボンベが完全に空になるまで, 乾燥器出口ガスの露点は -50°C 以下を示した。そして乾燥器の処理本数の増加とともに出口ガスの露点はしだいに増加し, 8 本目の最初では乾燥器を通した場合

も通さない場合も差がなく、 -25°C であった。しかし、この場合は Fig. 4 および 5 の活性アルミナおよびシリカゲルの場合のごとく、ポンベの残留圧の減少すなわち 1 本のポンベでの処理時間の経過につれ、特に低圧時にあらわれている露点の異常上昇³⁾は、7 本目でもまだあらわれていない。したがってポンベから供給される溶接用送給ガスの乾燥の目的をポンベ残留圧の低圧時の露点上昇防止だけに限るならば、すなわち Fig. 3 において露点 -25°C 程度の炭酸ガスを得ることを目的とするならば、結晶ゼオライト乾燥器はポンベ 8 本以上を処理するものと思われるが、本実験では 8 本目で一応結晶ゼオライトは破過したものと考え、実験を中止した。

Fig. 4 の活性アルミナの場合は既に一本目から、乾燥器を通さない場合のポンベ残留圧の低圧時における流出ガスの露点の異常上昇に対応して、乾燥ガスの露点も処理時間が 10 時間を過ぎると急激に上昇している。そしてこのサイクルが各ポンベで繰返されポンベの処理本数の増加とともに乾燥器出口ガスの最低露点（各ポンベ処理の最初すなわちポンベが完全に充填されている時の露点）はしだいに上昇し、処理本数 5 本で完全に破過している。したがってこの場合は、活性アルミナ充填層が完全に破過するまでに 5 本のガスが処理するわけであるが、上述のごとく、既に 1 本目から低圧時の露点異常上昇を防止する能力はない。したがって露点 -15°C 以上の炭酸ガスが溶接用として送給されることを警戒するとすれば⁴⁾ 処理本数は 3 本、流出時間 47 時間で充填層を再活性化しなければならない。送給ガスの露点として -20°C 以下を要求すれば、処理本数は 2 本となる。

Fig. 5 のシリカゲルの場合は、活性アルミナの場合とはほぼ同様の傾向を示し、完全な破過は 4～5 本目であるが、溶接用送給ガスの乾燥剤としては、この程度の充填層ではせいぜいポンベ 1 本の乾燥能力しかないことがわかる。

4. 考 察

(i) Fig. 3, 4 および 5 の実験結果の相違は、Fig. 1 および Fig. 2 に示した各吸着剤の低湿度における吸着平衡を比較すれば、ある程度理解されるところである。すなわち相対湿度 5% における吸着容量 (at 25°C) を比較すれば、Fig. 1 からわかるように、

Linde 4A Molecular Sieves …約 $18\text{ g}\cdot\text{H}_2\text{O}/100\text{ g}$ 吸着剤

活性アルミナ …約 4 ”

シリカゲル …約 3 ”

である。

また既報の著者らの実験において、活性アルミナおよ

びシリカゲルの理想的な吸着状況（再活性化直後で導管はガラス管）では、乾燥器出口ガスの湿度をかなり低下できたが、本実験の結果、このような低湿度のガスはきわめて限られた条件以外は得難く、実際の溶接条件ではこれらの吸着剤を使用した場合は、かなり大きな乾燥器が必要になることが予想される。

以下本実験条件における各吸着剤の破過時間を理論的に求め、実験結果と比較してみよう。

(ii) 活性アルミナの場合

一定温度における吸着剤の平衡吸着量と送給ガスの湿度との関係曲線、すなわち吸着平衡の等温線が直線の場合につき、河添氏は破過時間を求める近似式として次式を提示している⁵⁾。

$$\theta_d = \frac{\beta\gamma}{U} H (1 - \sqrt{\frac{\pi U}{K_a H}}) \dots\dots\dots (1)$$

ここで

θ_d : 破過時間 hr

β : q_0/c_0 c_0 に対する吸着係数 ($\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{吸着剤}$)

γ : 充填密度 (kg/m^3)

U : 乾燥器内を空にした場合の器内の流速, superficial linear velocity (m/hr)

H : 乾燥器の高さ (m)

K_a : 濃度差に基く総括容量係数 ($1/\text{hr}$)

c_0 : 入口濃度 (kg/m^3)

$q_0 : c_0$ に平衡な吸着率 (kg/kg 吸着剤)

ポンベから送給されるガスの水分含量は乾燥器の入口において一定でなく、ポンベの残留圧の減少とともに増加する³⁾。したがって c_0 の値は厳密には一定と定め難いがここではポンベから送給された全ガス中に含まれる水分含量の平均値を c_0 とした。

すなわち、いまポンベの液体炭酸充填量を 24 kg, ポンベの温度を 20°C とすれば、放出される炭酸ガスの全容量は、送給ガス圧を 1.5 atm として次式で求められる。

$$\text{炭酸ガスの全体積 } (V_t) = 22.4 \times \frac{24000}{44} \times \frac{273+20}{273} \times \frac{1}{1.5} = 8742\text{ l} \dots\dots\dots (2)$$

このガスの中に含まれる全水分量 H_t すなわち限界水分量は次式で求められる³⁾。

$$H_t = H_{g1} + H_g \dots\dots\dots (3)$$

$$H_{g1} = D_{g1} \times V_{fg1} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (4)$$

$$H_g = P_{\text{H}_2\text{O}} \times 0.80357 \times \frac{273v}{273+T} \left(1 + \frac{1}{\log e} (\log P_i - \log P_f)\right) \dots\dots\dots (5)$$

ここで

H_t : 液化炭酸ポンベから送給される炭酸ガスの全水分含量, g

H_{gl} : ポンベに液相と気相とが共存する状態で送給される炭酸ガスの水分含量, g

H_g : ポンベ内に気相のみとなって送給される炭酸ガスの水分含量, g

D_{gl} : ポンベ内に液相と気相とが共存する状態で送給される炭酸ガスの絶対湿度, g/m^3

V_{fgl} : ポンベ内に液相と気相とが共存する状態で送給される炭酸ガスの総体積, l

P_{H_2O} : ポンベ内の水蒸気分圧, atm

P_i : ポンベの最初の充填圧, atm

P_f : 流出圧, atm

v : ポンベの内容積, l

T : 温度, $^{\circ}\text{C}$

$$D_{gl} = \frac{0.02307}{56.495} \times \frac{18}{22.4} \times 1.5 \times \frac{273}{273+20} \times 10^3 \text{ (g/m}^3\text{)}$$

$$V_{fgl} = 8742 - 40 \times 5.6495 \text{ (l)}$$

$$P_{H_2O} = 0.02307 \text{ atm.}$$

$$P_i = 56.495 \text{ atm.}$$

$$P_f = 1.5 \text{ atm.}$$

$$v = 40 \text{ l}$$

$$T = 20^{\circ}\text{C}$$

$$H_t = 2.97 + 3.20 = 6.17 \text{ (g/m}^3\text{)} \dots\dots\dots (6)$$

したがって

$$c_0 = \frac{H_t}{V_t} = \frac{6.17}{8.742} = 0.71 \text{ g/m}^3 \text{ (露点 } -25^{\circ}\text{C)} \dots\dots\dots (7)$$

q_0 については本実験のごとく低湿度の Isotherm (等温平衡) のデーターがないので精確な値は定め難いが, 供試活性アルミナに関する $c_0 = 20 \sim 1 \text{ g/m}^3$ における値を外挿して $c_0 = 0.71 \text{ g/m}^3$ において $q_0 = 0.055$ とした⁶⁾.

総括容量係数 K_a は住友活性アルミナのカタログの値 $200 \text{ l/min} = 1200 \text{ l/hr}$ を採用した. 同じく充填密度 γ もカタログの値 800 kg/m^3 を用いた⁶⁾.

その他 (1) 式における U および H の値を, 実験条件から整理すれば Table 1 のとおりである.

これらの値を用いて, 活性アルミナの場合の破過時間を求め,

$$\text{活性アルミナ: } \theta_d = 18.8 \text{ hrs} \dots\dots\dots (8)$$

が得られた.

(iii) シリカゲルの場合

この場合も (1) 式が適用できると仮定して計算を行った. $c_0 = 0.71 \text{ g/m}^3$ (露点 -25°C) $q_0 = 0.03$ とし, また総括容量係数 K_a は次式⁷⁾から求めた.

$$\frac{1}{K_a} = \frac{1}{K_H a_v} = \frac{1}{k_H a_v} + \frac{1}{\beta k_S a_v} \dots\dots\dots (9)$$

$$\text{ただし, } K_H a_v = (2400) G^{0.55} \dots\dots\dots (10)$$

ここで

K_H : 湿度差に基づく総括物質移動係数 [$\text{kg} \cdot \text{H}_2\text{O} / \text{hr} \cdot \text{m}^2 \cdot \Delta h$]

a_v : 乾燥器単位容積内の乾燥剤の有効表面積 [m^2 / m^3 充填層]

k_H : 湿度差に基づくガス境膜物質移動係数 [$\text{kg} \cdot \text{H}_2\text{O} / \text{hr} \cdot \text{m}^2 \cdot \Delta x$]

k_S : 固体境膜物質移動係数 [$\text{kg} \cdot \text{H}_2\text{O} / \text{hr} \cdot \text{m}^2 \cdot \Delta x$]

Δh : 湿度差

Δx : 吸着量の差

G : ガスの質量速度 [$\text{kg} \cdot \text{乾燥ガス} / \text{hr} \cdot \text{m}^2$]

$$G = \rho U$$

ρ : ガスの密度 kg/m^3

$a_v = 1470 \text{ m}^2 / \text{m}^3$ および $k_S = 4.70 \text{ kg} \cdot \text{H}_2\text{O} / \text{hr} \cdot \text{m}^2 \cdot \Delta x$ をそれぞれ文献の値⁷⁾から代入して計算すれば

$$k_H a_v = 2400 \times 542^{0.55} = 7.7 \times 10^4$$

$$\beta k_S a_v = 42.25 \times 4.7 \times 1470 = 291928$$

$$\therefore K_a = K_H a_v = 60653 \dots\dots\dots (11)$$

シリカゲルの充填密度 γ は文献の値⁸⁾の平均値をとり $\gamma = 695 \text{ kg/mm}^3$ とする.

これらの値および Table 1 の値から (1) 式を計算すれば

$$\text{シリカゲル: } \theta_d = 19.6 \text{ hrs} \dots\dots\dots (12)$$

(iv) Molecular Sieves 4A の場合

Molecular Sieves 4A については総括容量係数 K_a の計算に必要な諸数値が明らかでないので unused bed の概念⁹⁾から破過時間を求めた. この点について説明すると, 吸着は比較的せまい圏内 (Absorption zone) でおこり, この Absorption zone は Fig. 6のごとく漸次移動する. $c_0/2$ 濃度を示す点は $U/\beta\gamma$ なる速度で移動するから⁸⁾, 入口から x の距離にある点の濃度が $c_0/2$ に達するに要する時間は $x / \frac{U}{\beta\gamma}$ である.

いま吸着帯の巾を $z[\text{m}]$ とする. 吸着帯の吸着量分

Fig. 6 Transfer of absorption length and length of unused bed

H : length of dessicant

Z : transfer zone length or absorption zone

$Z/2$: length of unused bed

Table 1 Condition of experiment

Desiccant	Diameter of desiccator, D, m	Height of desiccator, H, m	Weight of charged desiccant, M, kg	Flow rate of inlet gas, $V, m^3/hr$	Superficial linear velocity, $U, m/hr$
Activated alumina	0.056	0.245	0.50	0.804	326
Silica gel	0.061	0.242	0.45	0.804	275
Molecular sieves 4A	0.063	0.245	0.64	0.804	262

布は $c/c_0=q/q_0=1/2$ において大体対称であるから、吸着帯はなお吸着しうる能力を平均的に半分有し、 $(z/2)$ が吸着にあずからない。この $z/2$ を length of unused bed, 吸着帯の長さ z を transfer zone length という。すなわち $(H-z/2)$ 点の濃度が $c_0/2$ になるときを破過と考えると

$$\theta_d = \frac{(H-z/2)}{\left(\frac{U}{\beta\gamma}\right)} = \frac{\beta\gamma}{U} \left(H - \frac{z}{2}\right) \quad (13)$$

(13) 式の分母分子に乾燥器の横断面積 $S m^2$ を掛ければ

$$\theta_d = \frac{\beta\gamma S}{US} H \left(1 - \frac{z}{2H}\right) \quad (14)$$

そして $US=V$, (m^3/hr)

$\gamma SH=M$ (kg) であるから

$$\theta_d = \frac{\beta M}{V} \left(1 - \frac{z}{2H}\right) \quad (15)$$

本実験の場合は Fig. 3 から $c_0=0.9 \times 10^{-3} kg/m^3$ (露点 $-22^\circ C$) とし、 $20^\circ C$ における Molecular Sieves 4A の Isotherm から $q_0=0.17 kg/kg$ とする。天然ガスの z については、 U と z との直線的関係が実験的に求められているので¹⁰⁾、これを参考に $U=262 m/hr$ において $z=12m$ とおく。 M, V, H はそれぞれ Table 1 に与えられているから、これらの値を用いて (15) 式を計算すれば、

$$\theta_d = 117 \text{ hrs} \quad (16)$$

天然ガスより炭酸ガスのほうが transfer zone length が長いと考えられるので、いま $z=0.14m$ を採用すると

$$\theta_d = 108 \text{ hrs} \quad (17)$$

これらの計算結果の θ_d と Fig. 3 の実験結果の破過時間を比較すれば、おおむね一致している。したがって中性ガスの吸着帯の巾 z に近い値を用いて行なった上記の計算は妥当に思われる。

したがって、いま乾燥剤の充填量 $M kg$, 乾燥すべきガスの流量 $V m^3/hr$ および入口濃度 c_0 が既知とすれば、(15)式に $\beta = \frac{q_0}{c_0}$ を代入して、

$$\theta_d = \frac{M q_0}{V c_0} \left(1 - \frac{z}{2H}\right) \quad (18)$$

$$H = \frac{M}{\gamma S}, \quad z = \text{const.} \times U \quad \text{であるから}$$

$$\begin{aligned} \theta_d &= \frac{M q_0}{V c_0} \left\{ 1 - \frac{\text{const.} \times U}{2 \times \frac{M}{\gamma S}} \right\} \\ &= \frac{M q_0}{V c_0} \left\{ 1 - \frac{\text{const.} \times V \gamma}{2M} \right\} \quad (19) \end{aligned}$$

U と z との関係から

$$\text{const.} = \frac{z}{U} = \frac{0.12}{262} = 0.46 \times 10^{-3} \text{ hr}$$

また文献⁸⁾の値から $\gamma = 700 kg/m^3$

$$\text{ゆえに } \theta_d = \frac{M q_0}{V c_0} \left\{ 1 - 0.16 \times \frac{V}{M} \right\} \quad (20)$$

炭酸ガスの場合 transfer zone length が天然ガスの場合より長いと考えられるから $U=262 m/hr$, $z=0.14 m$ と仮定すれば、

$$\text{const.} = \frac{z}{U} = \frac{0.14}{262} = 0.53 \times 10^{-3} \text{ hr}$$

$$\text{ゆえに } \theta_d = \frac{M q_0}{V c_0} \left\{ 1 - 0.20 \times \left(\frac{V}{M} \right) \right\} \quad (21)$$

すなわち乾燥すべきガスの湿度従って c_0 流量 V および c_0 に平衡な吸着率 q_0 が与えられれば、(21)式により乾燥器の Molecular Sieves 充填量 M と破過時間 θ_d との関係が求められる。

5. 総 括

本研究では実際の溶接に適用される条件で、結晶ゼオライト、活性アルミナおよびシリカゲルのそれぞれ一定量が充填された乾燥器について、その乾燥能力を比較した。そして、

(i) 結晶ゼオライトは活性アルミナおよびシリカゲルに比べ、きわめて大きな乾燥能力を有することを認めた。すなわち 640 g の結晶ゼオライトを填めた乾燥器を用いれば炭酸ボンベ 7 本 (炭酸ガス送給時間約 112 時間) のガスを通過させ送給してそのガスの露点を $-25^\circ C$ 以下に保持しうる。特に 5 本までは $-40^\circ C$ 以下を保証しうる。

(ii) 活性アルミナおよびシリカゲルを用いる場合には、導管を脱水ガラスとし、理想的な活性状態すなわち新しい吸着剤の活性化直後は乾燥効果を示さず、乾燥能力も $-20^\circ C$ 以下の炭酸ガスをボンベ 2 本まで保証しうるに過ぎなかった。

(iii) 破過時間と必要な結晶ゼオライト充填量との関係について簡単な実験式を求めた。

本研究の遂行にあたっては、東京大学生産技術研究所河添邦太郎博士および池田憲治氏から種々御便宜を与えられ、また専門的な立場から多くの御教示を忝うした。結晶ゼオライトも同博士の御好意により入手しえたものである。両氏に対し深厚なる謝意を表する。

文 献

- 1) 関口, 益本: 炭酸ガス関口線材アーク溶接法について (第13報) — 送給ガスの乾燥, 溶接学会誌, Vol. 28 (1959) No. 4, 261~266
- 2) Linde: General Information on "Linde" Molecular Sieves

Type 4A and 5A

- 3) 関口, 益本: 炭酸ガス関口線材アーク溶接法について, (第12報) — 送給ガスの露点上昇についての実験および考察, 溶接学会誌, Vol. 28 (1959) No. 2, 112~119
- 4) 関口, 益本: 同上 (第7報) — 溶着金属の低水素含量と銀点の発生頻度, 溶接学会誌, Vol. 27 (1958), No. 6, 331~339
- 5) 河添: 吸着塔とその設計, 最近の化学工学 (1950).
- 6) 住友化学工業株式会社: 住友活性アルミナ応用解説書
- 7) 河添: 気体および液体の吸着, 最近の化学工学 (1956)
- 8) 河添: 吸着, 新化学工学講座 (1958)
- 9) R.E. Treybal: Mass Transfer Operations, McGraw-Hill (1955), 497~551
- 10) 河添: 未発表

次 号 予 告

講 義

- ☆ 溶着金属の衝撃値(その2) 応 和 俊 雄

資 料

- ☆ チタン, ジルコニウムの溶接ならびに実用例について { 猪 股 茂 男
西 原 弘 守
中 野 一

論文および報告

- ☆ 動的拘束溶接割れ試験装置の試作およびそれによる二, 三の実験 { 鈴 木 春 義
中 清 水 治 方
清 水 信

- ☆ HT-60 鋼高張力鋼の溶接用連続冷却変態図 { 稻 垣 道 夫
馬 田 豊 昭
宇 田 雅 広

- ☆ プラスチックスの溶接 (X) { 大 西 巖
木 村 博

- ☆ 強じん軟ろうの研究 { 吉 田 亨
広 瀬 徳 雄

- ☆ 低温用鋼材 (Si-Mn 系 YND 鋼) の性質について { 大 竹 正
守 田 義
合 田 進
金 森 雄
岡 部 正
中 島 樹

- ☆ 断面内で応力が急変する場合の切抜き法による表面残留 { 渡 辺 正 紀
応 力 測 定 精 度 渡 辺 寛