

## 鉄ウイスキアの量産化に関する研究\*

大 蔵 明 光\*\*

## A Trial of Continuous Production of Iron Whiskers

Akimitsu OKURA

## Synopsis:

Iron whisker, a single crystal of high purity, has high tensile strength. This material is expected to be used as fiber in composite materials as well as electrical materials.

While whiskers have excellent properties, utilization is limited because of nonuniformity of length and of diameter.

The author have investigated the optimum condition to obtain uniformity of length and thickness of whiskers in continuous production by reduction of  $\text{FeCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  with hydrogen. In this study the emphasis has been placed on the description of the usefulness of a gas curtain device combined with hinged door in the processing of iron whiskers, and the discussion on the growth mechanism has been made.

## 1. 結 言

ウイスキアと呼ばれる微細針状の単結晶は化学的に純粋で、その機械的強さは理論的に導かれる完全結晶の強さに近い。このため各種複合材料<sup>1)~3)</sup>の強化繊維として、また新しい電磁気材料など未来の材料として関心が高まっている。しかし現状においてはウイスキアの多量製造、均質性およびハンドリングなどの困難性から価格がきわめて高く、すぐれた特性をもちながらその利用は制限されている。

そこで工業的利用化の観点から筆者は鉄ウイスキアの大量育成法、均質性の検討、あわせて鉄ウイスキアの機械的、結晶学的性質の調査研究を進めている。特に低品位の  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  系粉鉱石の塩化処理、又製鉄所で排出される酸洗廃液など、微粉状塩化鉄として回収された塩化鉄の水素還元による結晶構造的に欠陥の少ない鉄ウイスキアを製造する一連のプロセスの検討は、資本節約的な新しい製鉄体系を追究する上においてもきわめて重要な意味をもつと考える。

## 2. 半連続ウイスキア製造装置の試作

半連続的にウイスキアを製造する目的で、従来の Brenner 法<sup>4)</sup>を改良した。すなわち Brenner 法はバッチ式であり連続的なウイスキアの育成はできない。したがって

バッチ炉両端にガスシールのためガスカーテン装置を設置したウイスキア製造装置を試作した。この概要図を Fig. 1 にしめた。

今日広く使用されているカーテン方式はフレームカーテン、あるいはエアーカーテンであるが化学反応用に採用した例は少ない。そこでこの試作装置により、従来のバッチ式炉でしめされたウイスキアの育成条件が再現できるか否かを検討した。

この半連続育成装置はガスカーテンに窒素を使用し、炉内の水素雰囲気と大気とを遮断し、 $\text{FeCl}_2$  原料を装荷したボートを均熱反応層に移動し、Fig. 1 ④に位置するガスカーテンを通過し、所定反応層がウイスキアを育成し再びガスカーテン部を経て⑤の冷却部に移動し、その後取出す方法である。

まずガスカーテン装置がこの種の反応装置に利用できるか否かについて検討する必要がある。次にそれらについて述べる。

一般に噴出口と噴流に関して有限寸法の吹出口からの等温噴出気流は Fig. 2 にしめすごとく、吹出口付近をポテンシャルコア部(I)と称し、ここでは噴流中心速度  $U_c$  が吹出速度  $U_0$  と等しく一定であり、また、吹出口から相当遠くはなれた部分を完全展開部(III)と称す。中心速度  $U_c$  は吹出口からの距離  $Z$  に反比例して減少する。この両者の間に、中心速度  $U_c$  が吹出口からの距離

\* 昭和50年5月19日受付 (Received May 5, 1975)

\*\* 東京大学生産技術研究所 工博 (Institute of Industrial Science, the University of Tokyo, 7-22-1 Roppongi Minatoku 106)

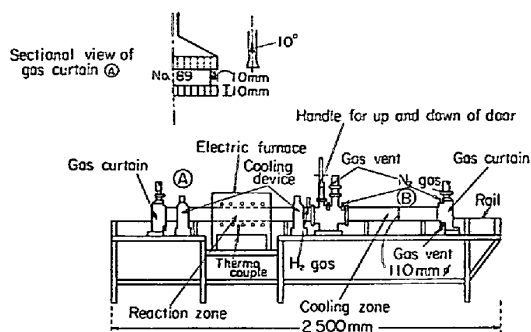


Fig. 1. Schematic diagram of semicontinuous production apparatus for iron whiskers.

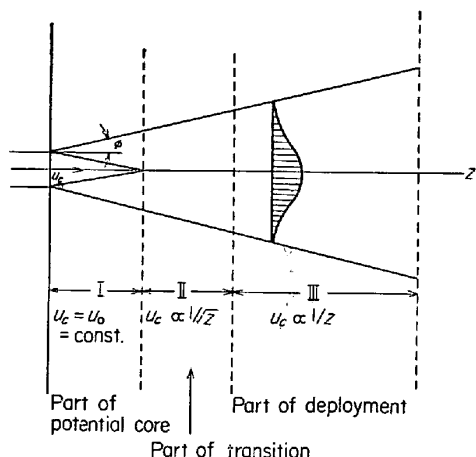


Fig. 2. Characteristics of free jet flow.

Zの平方根にはほぼ反比例して減少する遷移部 (II) がある。これら3部分の相対長さは吹出口の形状によつて多少異なる。たとえば円型噴流および平面噴流 (無限平行スロットからの噴流) においては、ポテンシャルコア部は吹出口の直径、あるいはスロット幅の数倍程度であると考えてさしつかえないとされている。自由噴流の特性の解析にはいろいろの方法があるが、此处では比較的取扱いが簡単で、しかも応用の広い REICHARDT の仮説による運動量拡散の理論に基づいて平面自由噴流の特性を調べた。この中から設計に必要な計算式だけを説明する。

まず噴流中心速度  $U_c$  の噴出距離 Z に対する変化は、吹出速度  $U_0$  および吹出スロットの幅  $A_0$  の 1/2 を基準にとつて無次元量で表わすと、

$$U_c/U_0 = \sqrt{\phi_1(f) \cdot (1/0.00Z)} \dots\dots (1)$$

ただし、 $\phi_1 = 2/\sqrt{\pi} \int_0^1 e^{-t^2} \cdot dt \dots\dots$  誤差関数

$$Z = z/\frac{1}{2}A_0$$

$$U_0, U_c : \text{m/sec}$$

$$A_0, z : \text{m}$$

となり、Fig. 3 の曲線のごとくなる。この図からもわかるごとく、 $Z = z/\frac{1}{2}A_0 = 9 \sim 10$ 、すなわちスロット幅の

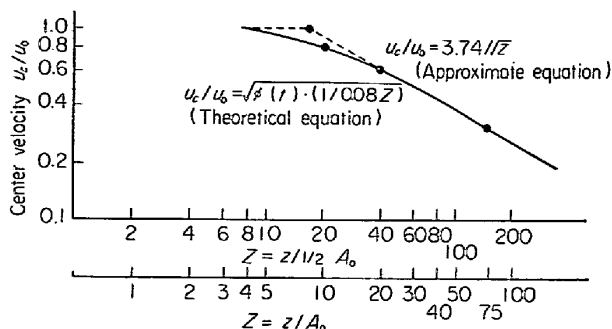


Fig. 3. Relation between center velocity of the free jet flow and Z (distance from jet slot).

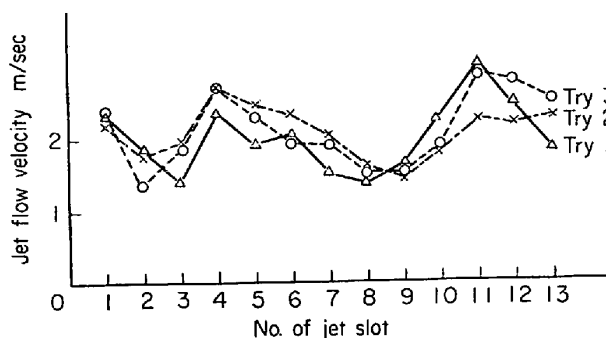


Fig. 4. Velocity distribution in each slot of gas curtain.

4.5~5倍程度まで吹出口から離れても噴流の中心速度はほとんど変化なく、いわゆるポテンシャルコア部とみなせる。また、 $Z = z/\frac{1}{2}A_0 > 28$ 、すなわちスロット幅の約14倍以上に離れた位置では、図中の破線で示されるような次の近似式を用いても実用上さしつかえないとされている。

$$U_c/U_0 = 3.74/\sqrt{Z} \quad (Z = z/\frac{1}{2}A_0 > 28) \dots\dots (2)$$

これらの関係式をもちいると、吹出口におけるガスカーテン噴流の最終中心速度を求めることができる。この値は一般には 2.5~3m/sec 以上にすればよい。

これらの関係式にもとづき噴流の展開角度を 10°、吹出スロットは 10mm×10mm の断面形状をもつもの13個のガスカーテン装置を作り、それぞれの各13個の吹出口の流速をベンチュリー流量計によつて調べた。その流速分布の結果を Fig. 4 にしめた。若干の差はあるがほぼ 1.5~3m/sec の範囲の分布をしめしていることがわかる。このような流速分布をもつガスカーテン装置を使用した時の炉内雰囲気遮断効果を吹出速度との関係で調べた。勿論この場合の調査は常温で実施し、ガス採取は炉内中心部より 100cc ずつ5回とし、その平均値を取つた。分析機器は大倉式ガスクロマトグラフである。その結果を Fig. 5, 6 にしめた。Fig. 6 は炉芯管の断面方向の位置によるガス分布である。直径を約 1/3 に

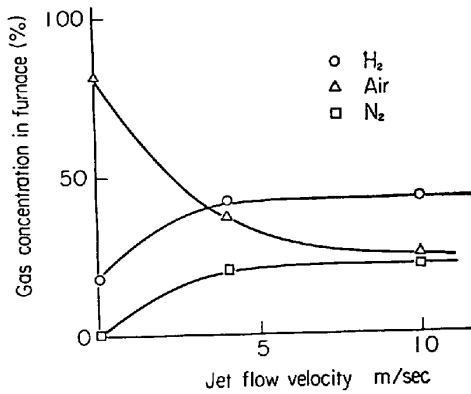


Fig. 5. Relation between jet flow velocity and gas concentration in the center of furnace.

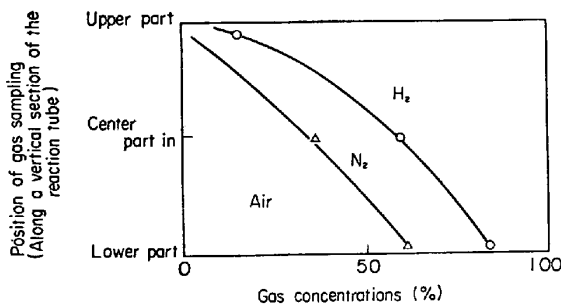


Fig. 6. Gas concentration in each part of furnace at jet flow velocity 10m/sec.

分割しガス採取をおこなった。

これらは、実際の反応に必要な水素を炉内に 10 l/min 流入した時の窒素ガスカーテンによる遮断効果を示す。当然のことながらスロットからの窒素量の増加にともない、大気との遮断効果が認められる。また炉内水素量はスロットからの窒素にあまり左右されることなく、流速 4m/sec 以上においてほぼ一定である。この場合の分析結果は、酸素、窒素、水素についてであり、酸素はガスカーテンの遮断効率が悪い場合に流入した空気中からのものと考えられる。そこで空気の組成に当たる窒素量を総窒素量から減じて残りの窒素がガスカーテン用窒素からのものとして表示した。

一般に反応層にガスカーテン装置を利用する場合には、炉内雰囲気用ガスの流速の高い程遮断効果を発揮することが考えられる。しかしウイスキアの製造のごとく低流速ガス雰囲気下での利用には上の結果から二重ガスカーテン、あるいは三重ガスカーテンを使用するか、他の方法の組合せを考える必要があることが明らかとなった。

そこで多重蝶番扉と、ガスカーテンとを組合せた、雰囲気ガスシール法を考案し、予備実験をおこなった。このガスシール法の機構を Fig. 7 にしめた。炉内ガス

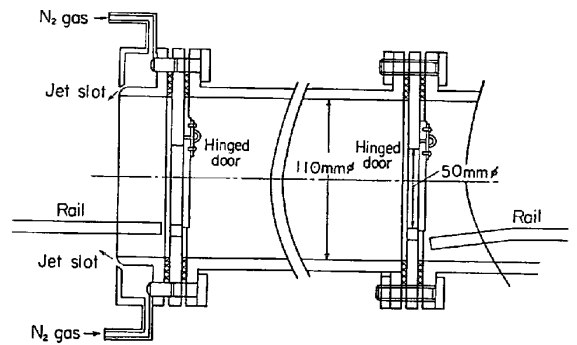


Fig. 7. Schematic diagram of gas curtain combined with multiple hinged door.

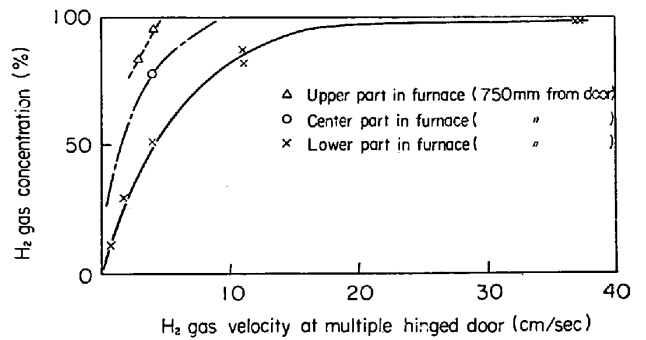


Fig. 8. Relation between gas velocity at multiple hinged door and H<sub>2</sub> gas concentration in furnace.

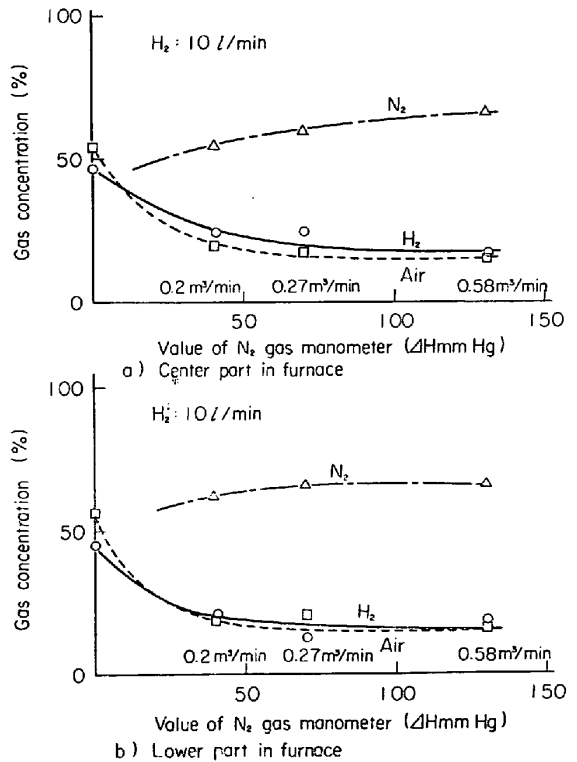


Fig. 9. Relation between sealing effect by gas curtain and gas concentration in furnace.

分布測定結果を Fig. 8, 9 にしめた。この結果によると多重蝶番扉のみでも、水素の流速 15 cm/sec 以上で炉内雰囲気は水素 100% に保ちうる。また従来の平板形ガスカーテン装置に比較して円周方向吹出口によるガスカーテン装置は遮断効率が約 40% 程度に改善された。なお水素の引火防止および反応系で発生する HCl による大気汚染の防止にも役立ち、またこのガスシール法に供するガスは空気でもよいことが明らかとなった。

この試作装置によりウイスキーの製造実験をおこなひ、従来の方式によるガスカーテンの欠陥を十分克服し製造に必要な諸条件を再現できた。

### 3. ウイスキーの連続育成装置の試作

上記予備実験は、主としてウイスキー育成装置に必要なガスシール法の改良、およびバッチ炉育成条件の再現性の検討であった。その結果製造上の問題点を明らかにすることができ、これらの諸条件を考慮して自動運搬装置（ポートを移動させる装置）を備えた連続育成装置の試作をおこなった。この装置の概略図を Fig. 10 にしめた。

この装置は炉両端出入口および焼鈍・冷却炉に多重蝶番扉とガスカーテンを組合せたガスシール法を採用したものである。また  $\text{FeCl}_2$  原料を融液にしてポータに供給するための加熱炉とウイスキーを生成せしめる還元層を分離した反応炉、焼鈍・冷却炉および自動送り装置によって構成されている。

製造方法は、図にしめた装置の左端よりポータが移動しポータ自身で蝶番扉を開閉させ加熱層まで移動する。其処で一定量の熔融  $\text{FeCl}_2$  を供給し、さらに均熱部（長さ 800 mm および  $\pm 5^\circ\text{C}$ ）である反応層を移動しながらウイスキーの育成をおこなう。そして育成後再び蝶番扉を開閉し、焼鈍・冷却部に移動し取出す。この一連の操作は減速モーターにより連続的にこなされる。育成のための水素ガスは均熱部両端から供給し、その流量比により炉内の水素雰囲気制御をおこなう。この装置の炉内

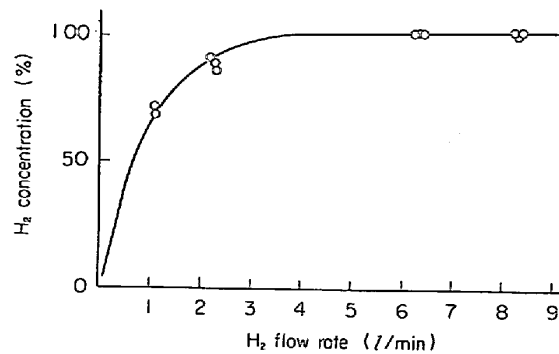


Fig. 11. Relation between sealing effect of gas curtain at center part and  $\text{H}_2$  flow rate at room temperature.

雰囲気と大気との遮断効果を Fig. 11 にしめた。この結果から炉内雰囲気は水素流量 4.5 l/min 以上で十分還元性を保ちうるということが明らかとなった。なおモーターの送り速度は 3 mm/min ~ 30 mm/min の範囲で制御できる。

移動装置のチエンは市販の炭素鋼を使用し、そのほかの炉芯管、ガスカーテンなどの材質はすべて SUS 27 である。加熱用熱源は電力で、熔融加熱炉 3 kW、反応層加熱 8 kW、焼鈍冷却部 3 kW の Ni-Cr ヒーターで加熱制御した。ウイスキー製造実験中、使用材料（チエンを除く）の損傷はほとんど認められなかつた。この点については装置全体が、反応によつて発生する HCl ガスの共沸点以上に保温されたため腐食性が低下したものと考えられる。このことは使用材料を選定するうえに有意義な資料と言えらる。

原料は市販特級  $\text{FeCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (99.9%)、還元用ガスは純度 99.98% の水素ガスを使用した。ウイスキーの観察は顕微鏡により、またウイスキーの結晶構造や成長軸方位の調査は X-Ray Laue 法によつた。

### 4. スケールアップに伴う成長条件の再現性

反応温度、時間、水素流量、原料装入量、また不純物などはウイスキーの形成や特性に重要な役割を演ずる。まず従来の小型炉（内径 55 mmφ）から内径 110 mmφ の炉にスケールアップした。この場合上述の因子の影響と無次元数の統一をはかり相似なモデルを再現しなければならない。普通炉内雰囲気は使用ガス流速を  $Re$  数（レイノルズ数）で統一することにより再現できることが知られている<sup>7)</sup>。したがって  $Re$  数（レイノルズ数）を一定にして上記諸因子の影響について小型炉での実験結果と比較検討した。

Fig. 12 に小型炉および連続炉のウイスキーの生成数

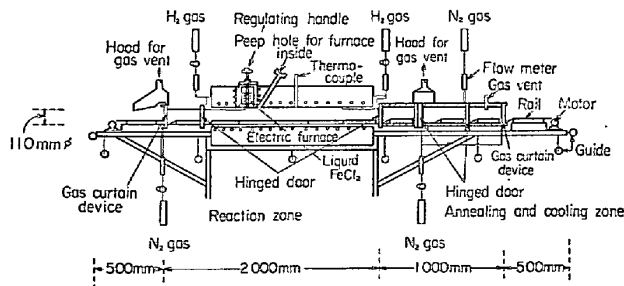


Fig. 10. Schematic diagram of continuous production apparatus for iron whiskers.

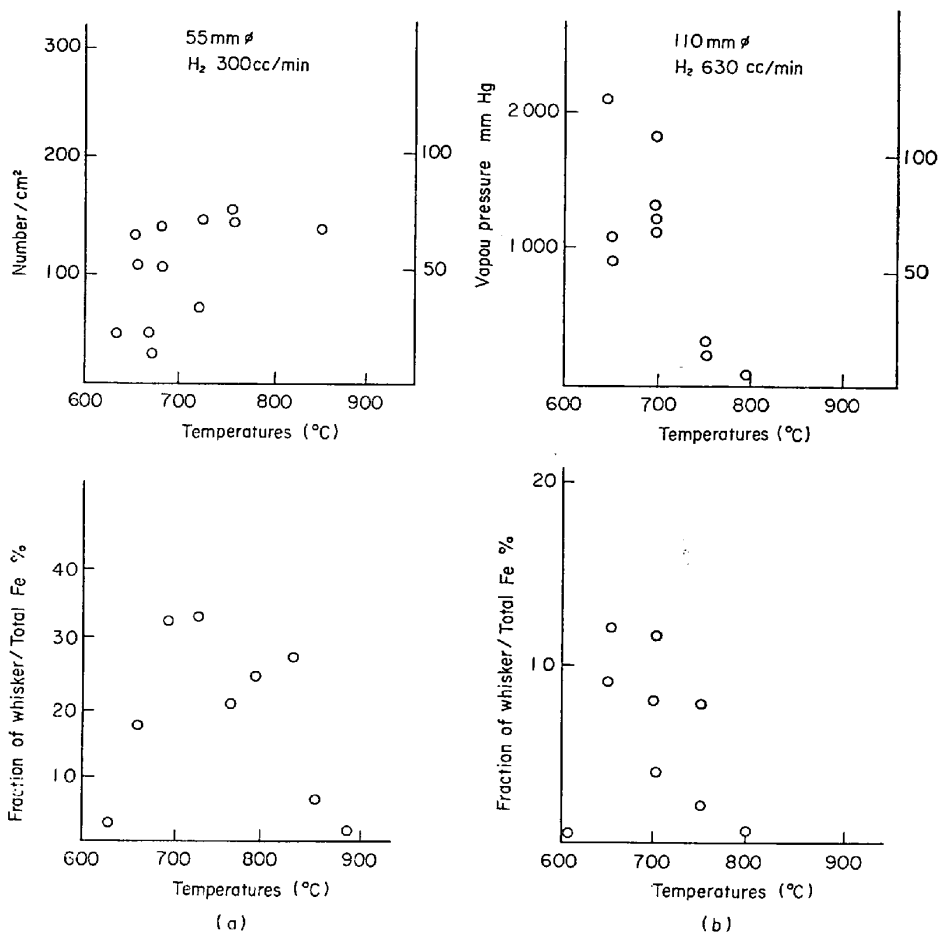


Fig. 12. Number and weight fraction of iron whisker in small scale furnace (55 mmφ) and bench scale furnace (110 mmφ).

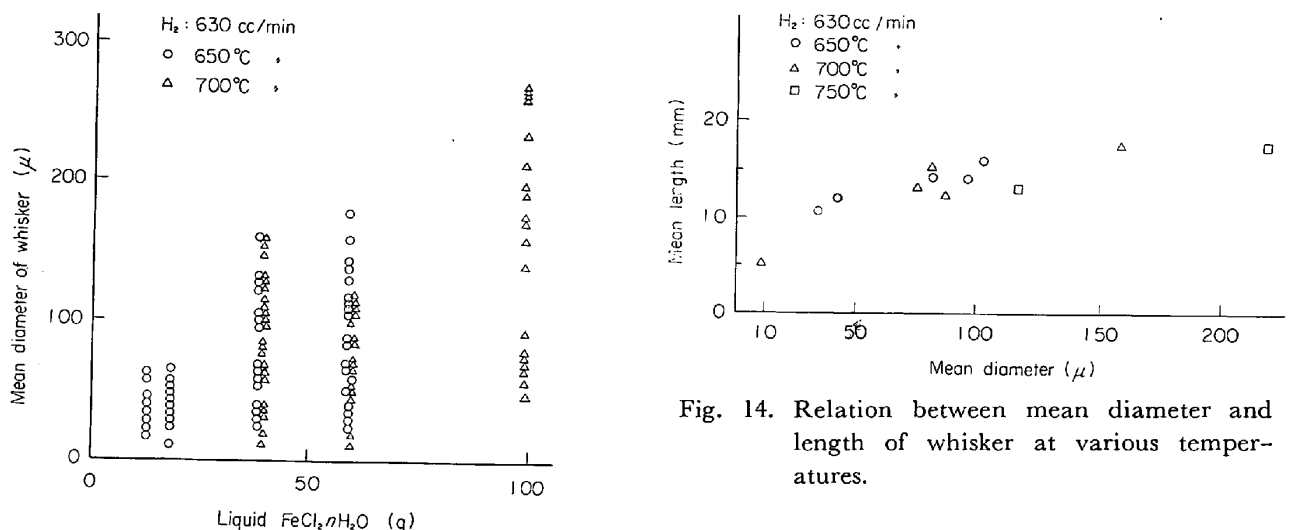


Fig. 13. Relation between mean diameter of whisker and charged FeCl<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O.

および生成量と育成温度の関係をしめた。小型炉においては非常に大きな差が見られるが、連続炉においては一定の傾向をしめし、生成数および生成量ともに比較的多い範囲は 650°C ~ 700°C であることがわかる。温度

が高くなるに従つて生成量は減少していく傾向は小型、連続炉ともに同様である。高温域においては高い蒸気圧のため FeCl<sub>2</sub> の蒸気が水素との反応が完了する前に冷却部に放出されることに起因してウイスキアの形成および収率が減少するものと思われる。

ウイスキアの長さ 10 mm 以上で 50 本の平均太さと

原料装入量の関係を図 13 にしめた。育成温度は比較的生成しやすい  $650^{\circ}\text{C}$  と  $700^{\circ}\text{C}$  とでおこなった。一定形状のボートの場合、大小のウイスキアの生成量は原料装入量とともに増大するが、生成本数は原料装入量に依存しない、なおウイスキアの径にバラツキが増大する傾向をしめた。このことはウイスキア生成の初期における潜伏期間において、ボート壁面に 2 次元的な鉄薄膜層が形成されウイスキアの核形成に必要な基盤形成がおこりその後一定の頻度で核形成がなされ成長することを意味する。生成したウイスキアの 50 本の平均長さ 5 mm 以上で 50 本の平均太さの関係を Fig. 14 にしめた。この結果によると径約  $40\mu$ 、長さ 10 mm 付近までと、それ以上とに差がみられる。これは、ウイスキアの成長が現象的には、潜伏期間(基盤形成・核形成)伸び成長、太り成長の過程を経る気相成長であることをしめている。

反应用水素流量の多い場合は層流状態になり、 $\text{FeCl}_2$  の蒸気がボート外へ未反応の状態運びだされ、 $\text{FeCl}_2$  の過飽和雰囲気がかわされるためウイスキアは生成しにくくなる。対流をおこす流速範囲では、上記雰囲気の影響はない。ウイスキア生成のためにはできるだけ低流速がよいとされている<sup>6)</sup>。

一般にハロゲン化物の還元によつて得られた金属ウイスキアの太さと結晶の完全性については密接な関係があり、その限界太さは数  $1000\text{\AA}$  ~ 数  $\mu$  で、すべりに寄与する転位はほとんど含まれていないといわれている。鉄ウイスキアについても同様であると考えられるから、実用に供する鉄ウイスキアを製造するには、成長過程での太さの制御が重要な課題となる。

## 5. 連続製造実験

試作連続炉に関する諸条件を握持したうえで実際に連続製造をおこなった。

まず移動して来るボートに熔融炉から 60 g の  $\text{FeCl}_2$  を装入し、反応部の温度  $700^{\circ}\text{C}$  で育成した結果、ウイスキアの収率は 1% 以下であり、ウイスキアはほとんど生成されず、ボート底部に海綿状還元鉄が認められた。このことは原料中に含まれる結晶水がウイスキアの形成にとって重要な因子であることを示唆したものである。

其処で熔融  $\text{FeCl}_2$  をボートに供給後観察窓より  $\text{H}_2\text{O}$  をそれぞれ 5cc、および 14cc 添加して育成状況を調べた。その結果を図 15 にしめた。Photo. 1 に  $\text{H}_2\text{O}$ : 5cc 添加時の写真をしめす。

$\text{H}_2\text{O}$  の添加量 5cc、14cc においてほぼバッチ炉の生

成傾向を再現し、なお  $\text{FeCl}_2$  供給量の増加とともに収率も増加する。しかし太さのバラツキが大きくなる傾向をしめた。 $\text{FeCl}_2$  供給量の少い範囲においては、Fig. 16 に示すごとく均質なウイスキアが形成された。

また自動送り装置の振動はウイスキアの生成にほとんど影響を及ぼさないことも確認した。

## 6. 成長機構および制御に関する考察

$\text{FeCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  を装入したボートを反応炉均熱部にすみやかに移動した場合、あるいは熔融  $\text{FeCl}_2$  を装入後  $\text{H}_2\text{O}$  や  $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$  を添加した場合に多くの鉄ウイスキアが育成し、そうでない場合にはほとんど形成されないという結果から、ハロゲン化物の水素還元によるウイスキアの生成機構、および高強度、均質性を有するウイスキアの製

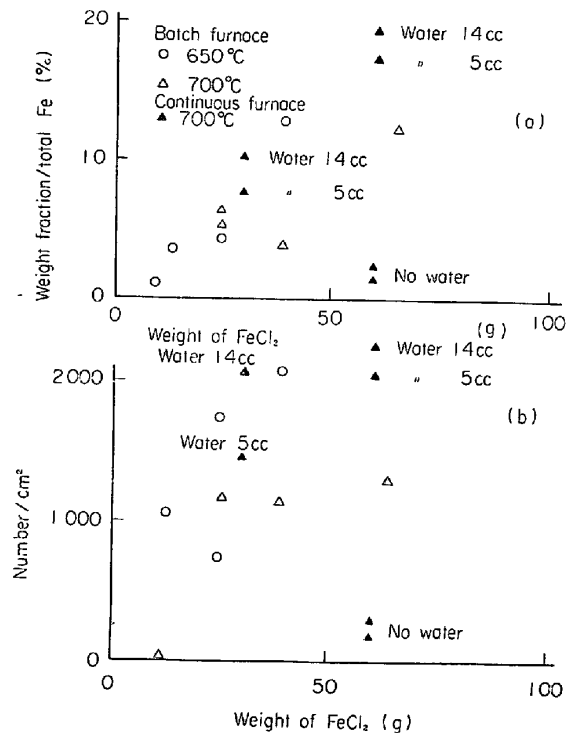


Fig. 15. Weight fraction (a) and number (b) of whisker in addition of water vapour.



Photo. 1. Growth of iron whiskers by continuous production. Mag.  $1\times$ .

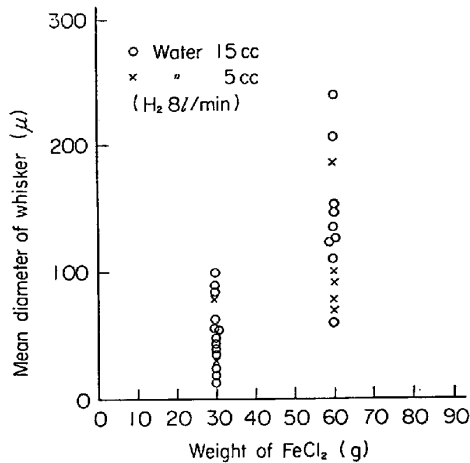


Fig. 16. Relation between mean diameter of whisker and charged FeCl<sub>2</sub>.

造について若干の考察をする。

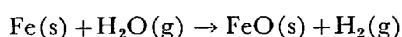
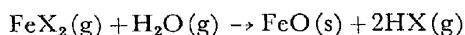
先にしめされたごとく、鉄ウイスキーの成長は気相成長であるとみなせる。

一般にウイスキーの成長を助ける内部応力を形成するのに、酸化プロセスが主導的な役割を演ずることや、生成させようとする物質側の表面に露呈した転位、結晶粒界の不整や、双晶が核の形成に一定の役割をはたすことが指摘されている。

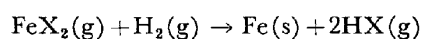
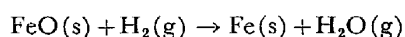
鉄ウイスキーの場合は酸化物微粒子上での相互の結晶の違いによる不整、あるいは内部応力が高まることに起因してウイスキーが成長すると考えた。

連続製造の場合にも同様の成長プロセスを経るわけであるが、バッチ式とことなり、常に反応炉内に塩化鉄の過飽和状態が存在する。したがって2次元基盤の形成と核形成に必要な塩化鉄と、また酸化プロセスに必要なH<sub>2</sub>Oのみの供給でウイスキーは成長することになる。この場合の核形成速度には少しの差はあつてもバッチ式に比較し、均一分布をもつものと考えられ、以後のウイスキーの成長は炉内に存在する過飽和塩化鉄によるものである。

溶融FeCl<sub>2</sub>をボートに供給した後H<sub>2</sub>Oを添加すると次の反応によりFeOが形成される ( $p_{H_2O}/p_{H_2} > 0.02$ )



このFeOはボート壁面の比較的FeCl<sub>2</sub>濃度の低い所で形成される。上記の反応の間にはほとんどのH<sub>2</sub>Oはボート外に排出され、この時点での反応因子は、FeX<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>、HX、FeOおよびH<sub>2</sub>Oである、次に、



の反応に従つてFeO表面に新たな還元鉄が生成する。これが有機的な核となつてウイスキーの成長がおこる。すなわち、それぞれの結晶の格子定数がことなつた、海綿鉄上に格子歪み、あるいはステップを生じここに吸着されたFeCl<sub>2</sub>は水素還元によりFeを生成し、それらの新しいFe原子は集中的にステップなどに吸着し結晶格子を組む、これの連続的作用によりウイスキーは成長する。

ウイスキーの成長や結晶成長の機構を説明する試みが種々なされている。例えば中軸のラセン転位によるステップに起因する成長や、先端不純物の触媒作用による成長の機構などが提唱されている<sup>8)9)</sup>。

なお太り成長、伸び成長については次のごとく考える。ウイスキーの先端では表面張力によるFeCl<sub>2</sub>の供給が少なくなり、FeCl<sub>2</sub>蒸気の凝縮のみになるので伸び成長は緩慢になる。さらに低次指数面で囲まれた側面では化学的蒸着、あるいは2次元的にFe原子が組み込まれて太り成長がおこる。この過程で転位や不純物などの欠陥が導入されると思われる。

上述の完全結晶に近いウイスキーの多くは、伸び成長の過程で得られるが、この制御は容易でなく、筆者がおこなつたウイスキーの直接観察結果ではウイスキーの形成開始から伸び成長の停止まで非常に早く、その成長速度は700°Cにおいて25μ/secであつた。

この事実から均質高強度ウイスキーの製造はFeCl<sub>2</sub>の供給量、反応時間および $p_{H_2O}/p_{H_2}$ の微妙な制御が必要となる。次に量産性について若干の考察を加える。ウイスキー全般にわたつて、複合材料の強化繊維を中心に、そのポテンシャルは高く評価されている。しかしその実用化に当つて製造価格とその利用技術が主要な課題となる。特に性質が均一なウイスキーを多量に製造する技術は工業的な用途開発の鍵といえる。

前節までは、鉄ウイスキーの量産化に必要な基礎的資料を実験的に収集し検討を加えた。実用化のために多くの解決を要する問題が予想されるが、連続的にウイスキーを製造する装置の基礎資料を得たので、これらを基に量産性を検討してみた。

ハロゲン化物の水素還元によつて育成した鉄ウイスキーは成長機構により、400 kg/mm<sup>2</sup>~600 kg/mm<sup>2</sup>の強度をもつウイスキーとそれ以下の強度のウイスキーの2種に大別できる。試作連続装置(全長400° mm. 径11° mm φ)の育成能力の簡単な計算によると、前者のウイスキーは0.4~0.6 kg/day/1基程度、後者は2~3 kg/day/1基となる。

Table 1. Results of investigation by Laue method.

Samples	Crystal orientation	Crystal plane	Sectional form	Dimension ( $\mu$ )	Ratio of both sides ( $a/b$ )
1	$\langle 100 \rangle$	(100)	rectangular	70 × 65	1.08
2	$\langle 100 \rangle$	(100)	〃	80 × 77	1.04
3	$\langle 100 \rangle$	(100)	〃	40 × 50	1.25
4	$\langle 100 \rangle$	(100)	〃	68 × 72	1.06
5	$\langle 100 \rangle$	(100)	〃	84 × 150	1.79
6	$\langle 100 \rangle$	(100)	〃	64 × 153	2.4
7	$\langle 100 \rangle$	(100)	quad rate	70 × 70	1
8	$\langle 100 \rangle$	(100)	〃	30 × 30	1
9	$\langle 100 \rangle$	(100)	〃	30 × 30	1

## 7. ウィスカーの成長軸方位

ウィスカーの成長軸は対称性の高い低次指数方位をしめし、その断面形状と軸方位には密接な関係のあることが知られている。これらの軸方位の制御はウィスカーの均質性や新しい用途開発を追究する上で極めて重要である。

連続炉で育成した鉄ウィスカーの成長軸方位を X-Ray Laue 法で調べた結果を Table 1 にしめた。この結果より成長軸方位の大部分は  $\langle 100 \rangle$  をしめし、その断面形状は正方形あるいは矩形である。矩形のウィスカーについては辺の長さの比と軸方位との間に一定の関係が認められる。その結果を Fig. 17 にしめた。  $a/b > 3$  の場合、矩形のウィスカーは (100) で囲まれた  $\langle 100 \rangle$  であった。 $\langle 100 \rangle$  の先細り傾向については、  $10 \mu$  径以下のウィスカーには少ないのに対してそれ以上では大きくなる傾向であった。六角形の断面をもつウィスカーは (100) で囲まれた  $\langle 111 \rangle$  で先細り傾向は少ない。その他  $\langle 110 \rangle$ 、 $\langle 211 \rangle$  なども見出された。

## 8. ま と め

以上鉄ウィスカーの量産化に関する基礎調査をおこなったのごとき結論を得た。

1. 小型バッチ炉のスケールアップにともなう鉄ウィスカーの生成傾向は炉内雰囲気、ガスの  $Re$  数 (レイノルズ数) を統一することにより再現し得る。

2. 多重蝶番扉とガスカートン装置を組合わせたガスシール法を採用した連続育成炉はバッチ炉と同様の雰囲気を実現出来る。溶融炉、反応炉を別々に設置した連続育成法により、太さの制御と多量育成の見通しが得られた。

3. 鉄ウィスカーの成長は現象的には鉄基盤形成、核形成、伸び成長、太り成長の過程を経る気相成長であり初期の基盤・核形成の時期には  $FeO$  の存在が必要であり、伸び・太り成長の時期には  $FeCl_2$  の過飽和雰囲気

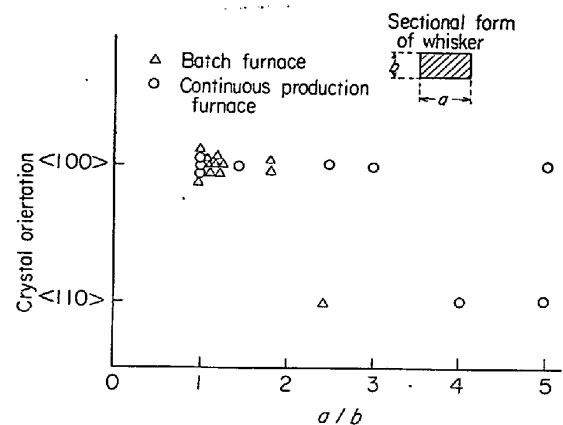


Fig. 17. Relation between crystal orientation and ratio of both sides ( $a/b$ ).

必要とすることが明かとなった。

4. ウィスカーは生成機構などにより、  $400 \text{ kg/mm}^2 \sim 600 \text{ kg/mm}^2$  の高強度を有するものと、それ以下のものとに分類できる。なお量産性については、前者のウィスカーは  $0.4 \sim 0.6 \text{ kg/day/1基}$ 、後者は  $2 \sim 3 \text{ kg/day/1基}$  と試算された。

この連続育成装置の試作にあたり、新技術開発事業団より調査費として援助を受けた。実験遂行にあたっては中村敏則君 (現川崎重工業) の労多く、新技術開発事業団の援助と中村君の努力に感謝するものである。またガスカートン試作に当たりユニークな示唆を与えられた東大生産技研試作工場の技官の皆様に併せて感謝致します。

## 文 献

- 1) 林 毅: 日本機械学会誌, 71 (1965) 593, p. 27
- 2) B. PAUL: Trans. AIME, 219 (1960), p. 36
- 3) 林 毅: 複合材料研究会, 7 (1969)
- 4) 新津, 加藤: エア・カーテンの設計, 2 (1963)
- 5) S. S. BRENNER: J. Appl. Phys., 27 (1956), p. 1484



- 
- 6) 大蔵, 金子: 鉄と鋼, 57 (1971) 10, p. 112  
7) 鉄鋼基礎共同研究会資料, 6 (1971)  
8) 橋口: 固体物理, (1966), p. 12
- 9) R. S. WAGNER and W. C. ELLIS: Trans.  
AIME, 233 (1965) 6, p. 1053
-