

Title	炭素析出抑制技術を導入したSOFCの性能向上の検討
Sub Title	
Author	加藤, 竜三郎(Kato, Ryuzaburo) 疋田, 浩一(Hikita, Koichi) 石谷, 久(Ishitani, Hisashi) 松橋, 隆治(Matsuhashi, Ryuji)
Publisher	慶應義塾大学産業研究所
Publication year	2000
Jtitle	KEO discussion paper. G : 『アジア地域における経済および環境の相互依存と環境保全に関する学際的研究』 (KEO discussion paper. G : "Inter-disciplinary studies for sustainable development in Asian countries"). No.G-93
JaLC DOI	
Abstract	概要現在我々が直面している地球規模の問題として、地球温暖化やエネルギー問題が挙げられる。地球温暖化は温暖化ガスの大気中濃度の上昇が原因と考えられており、温暖化ガスの排出量の削減が求められている。またエネルギー問題は、埋蔵量に限りある化石燃料の枯渇であり、化石燃料に代わる太陽光発電等の新しいエネルギーシステムの開発が行われている。現在エネルギーシステムの大きな部分を火力発電が占めており、これに代わる発電システムとして、燃料電池が注目を集めている。燃料電池は化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換するため熱機関の制限を受ず、高いエネルギー効率が期待出来る。また燃料電池はその構造上、NOx、SOx等も排出しにくいという特徴も持つ。本研究においては、SOFCの発電実験を行ない、アノードにおける反応機構の解析を行なった。これにより水蒸気導入によって反応機構が希薄燃料の反応機構の変化と同様に变化する事が確認された。電極性能の劣化がCH4の熱分解による炭素析出が第一の原因であることがわかった。また水蒸気添加条件では炭素の析出も少なく、アノードの過電圧も小さい事から炭素析出の抑制がアノード過電圧の抑制につながる可能性が考えられた。次に実験から得られたデータを元にモデル化したSOFCを用いたコジェネレーションシステムの評価を行なった。燃料電池を導入する事はエネルギー収支の面では大変有効である事がわかった。また、水蒸気添加量が高いほどそのコジェネシステムの総合熱効率が高くなる事がわかった。これは単セルが水蒸気添加量の上昇に伴い、水蒸気添加の熱負荷の増大が起こることに見矛盾するが、コジェネシステムとして十分な熱回収を行えば熱負荷を補ってあまりある熱供給が行えるためである。
Notes	表紙上部に"日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業複合領域「アジア地域の環境保全」"の表示あり
Genre	Technical Report
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AA12113622-00000093-0001">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AA12113622-00000093-0001</a>

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

# 炭素析出抑制技術を導入した SOFCの性能向上の検討

加 藤 竜三郎  
疋 田 浩 一  
石 谷 久  
松 橋 隆 治

No.G-93

学振未来 WG2-31

# 炭素析出抑制技術を導入した SOFC の性能向上の検討

加藤 竜三郎、疋田 浩一、石谷 久、松橋 隆治

2000年4月

## キーワード

SOFC、アノード、反応機構、過電圧、内部改質、モデル化、コージェネレーション、エネルギー収支、CO<sub>2</sub> 排出量

## 概要

現在我々が直面している地球規模の問題として、地球温暖化やエネルギー問題が挙げられる。地球温暖化は温暖化ガスの大気中濃度の上昇が原因と考えられており、温暖化ガスの排出量の削減が求められている。またエネルギー問題は、埋蔵量に限りある化石燃料の枯渇であり、化石燃料に代わる太陽光発電等の新しいエネルギーシステムの開発が行われている。現在エネルギーシステムの大きな部分を火力発電が占めており、これに代わる発電システムとして、燃料電池が注目を集めている。燃料電池は化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換するため熱機関の制限を受ず、高いエネルギー効率が期待出来る。また燃料電池はその構造上、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub> 等も排出しにくいという特徴も持つ。

本研究においては、SOFC の発電実験を行ない、アノードにおける反応機構の解析を行なった。これにより水蒸気導入によって反応機構が希薄燃料の反応機構の変化と同様に变化する事が確認された。電極性能の劣化が CH<sub>4</sub> の熱分解による炭素析出が第一の原因であることがわかった。また水蒸気添加条件では炭素の析出も少なく、アノードの過電圧も小さい事から炭素析出の抑制がアノード過電圧の抑制につながる可能性が考えられた。

次に実験から得られたデータを元にモデル化した SOFC を用いたコージェネレーションシステムの評価を行なった。燃料電池を導入する事はエネルギー収支の面では大変有効である事がわかった。また、水蒸気添加量が高いほどそのコージェネシステムの総合熱効率が高くなる事がわかった。これは単セルが水蒸気添加量の上昇に伴い、水蒸気添加の熱負荷の増大が起こることに見矛盾するが、コージェネシステムとして十分な熱回収を行えば熱負荷を補ってあまりある熱供給が行えるためである。

# 炭素析出抑制技術を導入した SOFC の性能向上の検討

加藤竜三郎\*・疋田浩一†・石谷久\*・松橋隆治‡

2000年4月

## 1 緒言

現在我々が直面している地球規模の問題として、地球温暖化やエネルギー問題が挙げられる。地球温暖化は温暖化ガスの大気中濃度の上昇が原因と考えられており、温暖化ガスの排出量の削減が求められている。またエネルギー問題は、埋蔵量に限りある化石燃料の枯渇であり、化石燃料に代わる太陽光発電等の新しいエネルギーシステムの開発が行われている。現在エネルギーシステムの大きな部分を火力発電が占めており、これに代わる発電システムとして、燃料電池が注目を集めている。燃料電池は化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換するため熱機関の制限を受ず、高いエネルギー効率が期待出来る。また燃料電池はその構造上、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub> 等も排出しにくいという特徴も持つ。

## 2 背景

### 2.1 SOFC の原理

燃料電池には様々な種類があるが固体電解質型燃料電池(SOFC)は高温動作型に含まれる、電解質に固体酸化物を利用した燃料電池である。具体的な発電機構としては空気極上で酸素分子が電極反応を起こし、電極から電子を受け取り、酸素イオンとなる。そして固体酸化物電解質中を酸素イオンが移動して燃料極中で燃料を酸化し、電子を電極に放出する。SOFC の特徴は構成部品がすべて固体であることで、理論上では燃料としては酸化し得る物質ならば使える。

### 2.2 燃料電池研究の現状

研究開発の現状は、これまでの基礎研究がようやく実を結び、実用にむけた研究が始まったところである。これまでの研究は総じて水素燃料を基本として行われてきた。これは水素燃料による反応機構が比較的単純で研究しやすかった事や炭素を含む化合物に電解質が被毒されやすい場

---

\* 東京大学大学院工学系研究科

† 慶応義塾大学産業研究所

‡ 東京大学大学院新領域創生科学研究科

合があることなどが理由で、炭化水素を燃料とした研究は数少ない。

### 2.3 炭化水素燃料の利点と欠点

現在、主流の水素燃料に比較した場合、炭化水素燃料は燃料密度が高い、扱いが容易である、安価である等の利点がある。これは水素燃料そのものが炭化水素を改質器を通して生成しているためである。しかし現在炭化水素燃料の燃料電池の研究が進まない原因としては、SOFC が高温で作動するため、炭化水素の熱分解により生じる炭素析出が問題となる。この析出により電極性能の劣化が生じるので炭化水素燃料での持続性が得られないため商用化に適さないのである。

### 3 目的

炭化水素燃料の実用化のため、炭素析出抑制技術の SOFC 発電特性の変化を計測し、過電圧などの挙動を定量的に扱い、その技術による発電システムの性能向上の評価をおこなう。

### 4 発電実験

#### 4.1 目的

炭素析出抑制技術の研究にあたり、炭素析出の機構の解明が必要である。そこで炭素析出抑制技術として有望視されている水蒸気添加法を用いた場合の発電を測定する事により、SOFC の出力挙動を分析して水蒸気添加法の効果を定量化することにより、SOFC モデル構築のための基礎データを得る。

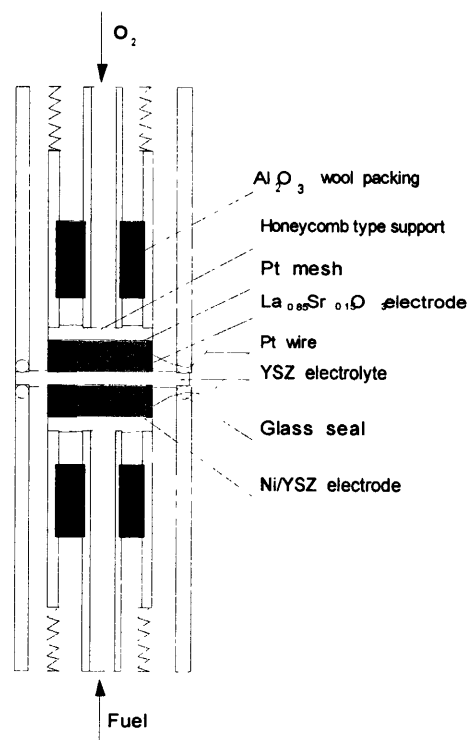
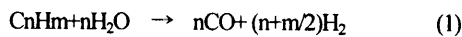


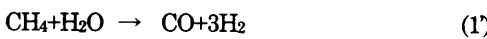
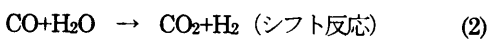
Fig.1 実験用セルの構成

#### 4.2 水蒸気改質反応について

水蒸気改質反応は炭化水素を CO と H<sub>2</sub> に改質させる反応であり、



という反応式で表される<sup>2)</sup>。この主反応の下で以下の様な反応も起こる。



(1) の反応は吸熱反応であり、通常 Ni 系の触

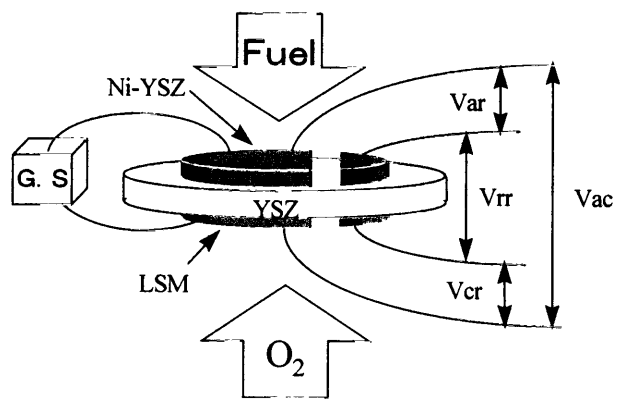


Fig.2 6 端子法

媒を充填した耐熱金属性の反応管で、温度 800–900℃で行われる。本実験では SOFC の特徴である高温運転を利用してセル内部で直接改質反応を行い、内部改質型の発電システムをモデルとして扱う。

### 4.3 実験装置及び発電条件

8mol%-YSZ を電解質に用い、燃料極（アノード）に Ni-YSZ サーメット、空気極（カソード）に  $\text{La}_{0.85}\text{Sr}_{0.15}\text{MnO}_3$  を用いた CELL (Fig. 1) に、 $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  を  $\text{CH}_4$  に水蒸気を添加後の 1000℃の平衡組成に近いガスに調製して燃料として用いた。発電実験をおこない、CELL の出力特性の計測及びガスクロマトグラフィーによる排気ガスの分析もおこなった。本実験の特徴としては、第一に  $\text{CH}_4$  の水蒸気改質後の平衡組成を計算した後、燃料として平衡組成のガスを用いたことにある。これにより電極表面にそのままの組成で燃料が到達することが期待でき、電極での反応を観測しやすくなると思われる。本実験の出力特性の計測には 6 端子法 (Fig. 2) を用いた。この 6 端子法とは電極間に定電流を流すための端子およびそれぞれの電位を測定するための端子を配した 4 端子法に加え空気極室及び燃料極室の面する電解質表面の電位を測定する為の各極用の参照極を配置した手法である。これにより燃料電池中の発電時の挙動が明確に捉えられ、ガス組成の挙動とあわせ発電反応機構をより厳密に解釈できると考えられる。また各電極の反応過電圧を分離するためカレントインターラプション法を用いた。

本実験における標準的な発電条件を Table 1 に示す。

燃料を平衡組成で供給するに当たり、水蒸気/メタン比 (S/C) によってどのような組成になるかを計算した。本実験では  $\text{CH}_4$  燃料の割合を 29% と固定し、Ar を希釈ガスとして用いて、S/C=0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 の条件で水蒸気を添加した場合の平衡組成で燃料を供給した。

Table 1 発電実験における標準条件

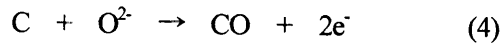
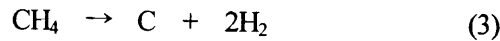
作動温度	1000℃
酸素流量	50mlNTP・min <sup>-1</sup>
燃料流量	60mlNTP・min <sup>-1</sup>

### 4.4 実験結果および考察

Fig.3 に炭化水素燃料において発電実験を行った際の SOFC の IV 特性を示す。開放状態に於いては S/C=0 から順に S/C の増大に従い起電力が小さくなった。また電流を流すと、S/C=1 のとき最大の端子間電位差を示した。其の結果、実験セルは S/C=1 に於いて、約 800mA/cm<sup>2</sup> のとき最大の 0.36[W/cm<sup>2</sup>] を示した。この結果から S/C=1 前後では何らかの過電圧により端子間電位差が小さくなるのがわかる。また S/C>1 における端子間電位差の低下は開放起電力の降下と同原因である事が予想される。

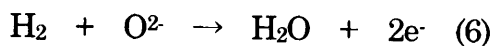
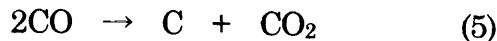
次に Fig.4 にアノード過電圧の測定結果を示す。S/C<1 では大きな過電圧を示しているのに対し、S/C≥1 では小さな値を示している。実際のセルを組んだ際の実出力電圧の低下原因になるため過電圧は出来るだけ小さい事が望まれるが、其の点からは S/C>1 での運転が望まれると考えられる。また CO の過電圧も S/C>1 に比較すると大きい事がわかる。

Fig.5 に S/C=0.0 での発電実験時の排気ガス組成を示す。この結果から S/C=0.0 では以下に示すような反応が主に起こっている事が分かる。



希薄燃料では H<sub>2</sub> の燃焼も報告されているが本実験ではほぼ観測されなかった。

Fig.6 に S/C=1.0 の結果を示す。ここでは燃料中に含まれるものは H<sub>2</sub> と CO だけであり、反応に寄与しているものはほとんど H<sub>2</sub> である。炭素の析出は若干ながらあるのでこの条件では以下に示す反応が進行していると考えられる。



ここで反応過電圧は電気化学反応としては反応抵抗と考えられるから、S/C=0.0 における過電圧は反応(4)に由来すると考えられ、S/C=1.0 の過電圧は反応(6)に由来す

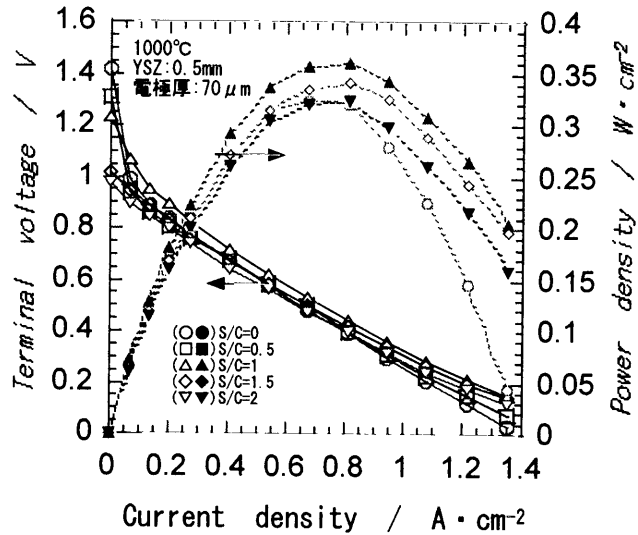


Fig.3 SOFCのIV特性

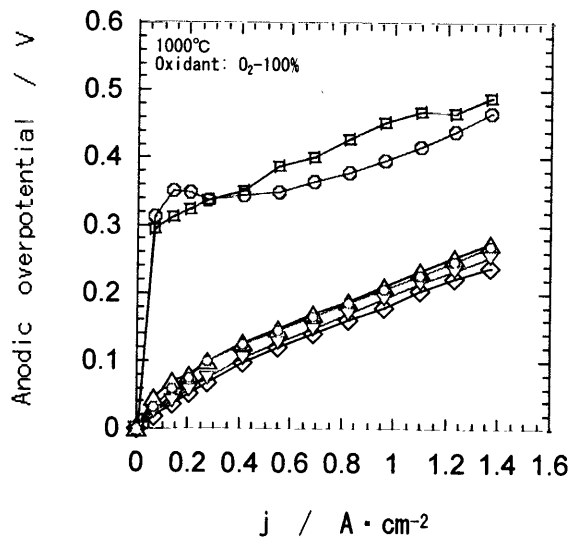


Fig.4 Anodic Overpotential

と考えられる。 Fig4 に示したようにCOの酸化は過電圧が大きくS/C=1.0では進行していない。発電実験の範囲では燃料利用率が低いためH<sub>2</sub>の反応のみが観測されたが、利用率の上昇とともにCOの反応が現れ、過電圧が上昇する事が予想される。

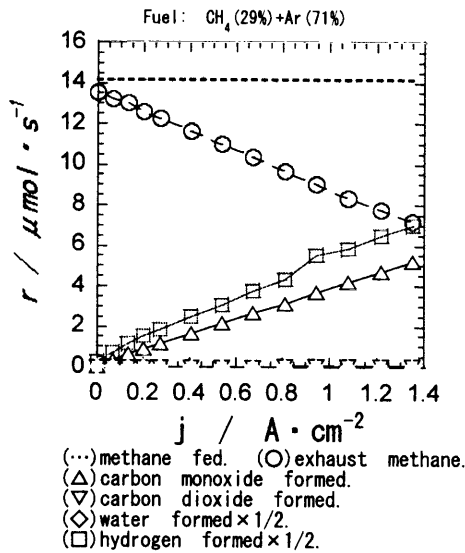


Fig.5 Exhaust gas analysis (S/C=0.0)

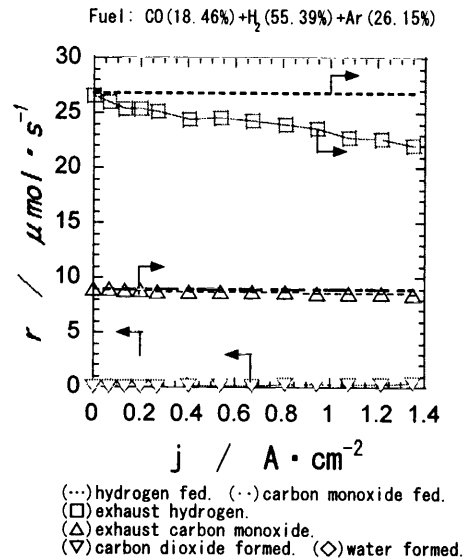
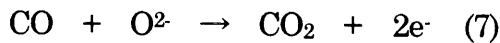


Fig.6 Exhaust gas analysis (S/C=1.0)

Fig.7 に S/C=2.0 での結果を示す。ここでは(5),(6)と共に以下の反応が進行している事が分かる。



これはなんかの効果によりCOの反応活性があがり(6)並みに反応速度があがっていると考えられる。これが余剰のH<sub>2</sub>OがNi触媒の活性をあげていると考えればCH<sub>4</sub>の減少意外にもH<sub>2</sub>Oの添加の効果があるといえる。

しかし水蒸気の添加はセルを単体で検討するならば熱的な負荷であるから過電圧の低下による利点を相殺してしまうかもしれない。そこで次節ではSOFCのシステム的な検討を行う。

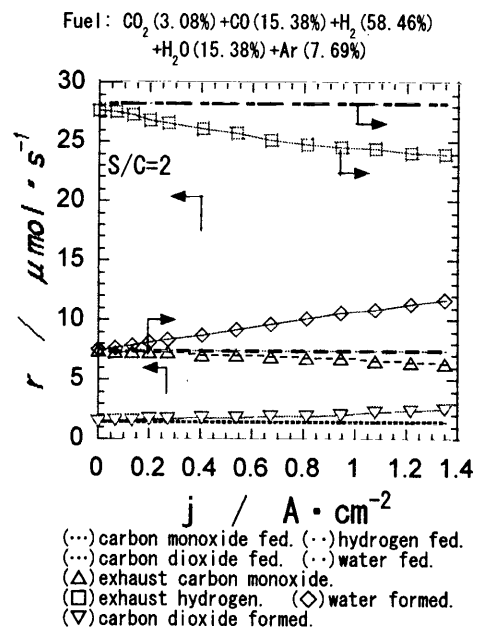


Fig.7 Exhaust gas analysis (S/C=2.0)



## 5 発電システムの評価について

### 5.1 目的

実験事実に基づいた SOFC 発電システムのモデル化を行い,単セルにおける水蒸気添加の影響を予測し実験用セルの挙動との整合性を確認する.その後,実用的な条件の発電システムにおいて水蒸気添加による炭素析出抑制効果の推算を行うと共に,今後の開発の指針を得る.

### 5.2 単セルのモデル化

発電システムの評価にあたり,セルの起電力の依存関係を分類した.各反応過電圧は同燃料雰囲気下で電流密度のみに依存する.セルの内部抵抗も同様に電流密度に依存する.閉回路起電力は

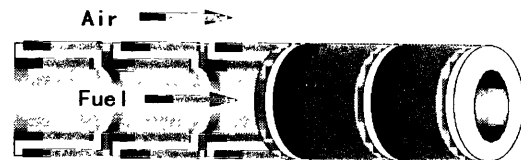


Fig.8 多段セルのモデル

燃料と電解質透過の酸素イオンの比に依存する.各反応過電圧は実験値を近似した電流密度の関数を用いた.そのため電流密度依存の有効域は  $50[\text{mA}/\text{cm}^2]$ 以上, $1.3[\text{A}/\text{cm}^2]$ 以下である.

単セルではまず実験用のセルのシミュレートを行った. $V_{ac}$ は起電力 $V_{emf}$ から各過電圧および IR 損を差し引いた値になるので各項を関数化した. $V_{emf}$ は燃料流量と電流量の比の関数である.つまり  $V_{emf}$ は燃料使用率の関数とした.そしてアノードでの反応過電圧は実験値を近似する形で関数化した.またカソード過電圧,IR 損は  $S/C$ に寄らない電流密度の関数とした.

$V_{emf}$ の関数化に際しては燃料極室での平衡状態を仮定した. $V_{emf}$ は燃料極室での酸素分圧  $p_{O_2,a}$ によってネルンストの式より以下のように示せる.

$$V_{emf} = \frac{RT}{4F} \ln \left( \frac{p_{O_2,c}}{p_{O_2,a}} \right) \quad (8)$$

通常の電流密度の上昇とともに出力電圧が下がるような特性の電池では多段化を進めるほど効率が上がるため,高効率の発電システムを目指すためのモデルとしては多段型の方が適していると考えた.また実用上のモデルを考えるため電極の出力密度を  $2\text{k}[\text{w}/\text{m}^2]$ 程度と考え,メタン流量  $4000[\text{ccm}]$ ,電極総面積  $1[\text{m}^2]$ ,運転温度  $1000[^\circ\text{C}]$ ,段数  $9[\text{step}]$ ,燃料利用率  $90[\%]$ に設定した.(Fig.8)また排気ガスの顕熱のうち  $500[^\circ\text{C}]$ 分を燃料ガスの昇温に用いるものとした.実験用のセルの挙動との比較を Fig.9 に示す. $S/C < 1$ では計算値が大きく出ている.これは実験装置においてアノ

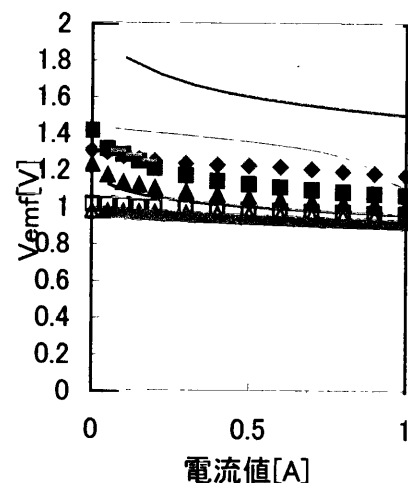


Fig.9 実験セルの起電力予測

ード側が十分に平衡に到達していないためであると思われる。そのため実用の発電システムではシステムのスケールが大きくなることを考慮すると滞留時間の長期化に伴い平衡に近づくので出力も計算値により近いものになると考えられる。また  $S/C > 1$  では良い近似になっている。

多段セルモデルの計算にあたり  $V_{ac}$  の算出が必要になるがこれは(3)の式に従い  $V_{emf}$ ,  $\eta_a$ ,  $\eta_c$ ,  $IR$  から得る。ここで  $V_{emf}$  は前述の通り理論的に求めた計算値を用いる事とした。次に  $\eta_a$ ,  $\eta_c$  に関しては実験値を近似した関数の形でもとめた。 $IR$  に関してはYSZの1000℃における抵抗率10[S/cm], 薄膜化の技術を考慮して、 $0.2[w \cdot cm^2]$ 程度と想定した。

### 5.3 コジェネシステムとしての評価

#### 5.3.1 評価の設定条件

##### ・300kW 級のコジェネシステムの設定

評価を行うにあたり、コジェネシステムのモデルを設定した。まず、評価対象として 300kW 級の PAFC を検討した。これに伴い条件を合わせるためまず、300kW 級の SOFC 発電システムを設定した。この際にエネルギーの収支を検討し、熱交換器等の周辺機器の規模も設定し、建設時のエネルギー投入や CO2 排出量の計算も行った。

##### ・事務所への導入

8000m<sup>2</sup> の事務所を対象としてコジェネとして導入を検討した。事務所等の電力、給湯、暖房、冷房の需要を Table 2 に示す。事務所の需要の特徴は他と比べ、電力需要の比率が高いところにある。これまでのコジェネシステムは電力出力に比較して熱の供給量が多いため、このような需要割合は適応し難い。電力出力比の高さが特徴である SOFC こそ適材であるとかんがえ、事務所をモデルの適用場所として選択した。

Table 2 年間需要量(kWh/m<sup>2</sup>)

		事務	病院	ホテル	店舗	住宅
電力		156	170	200	226	21
熱	給湯	2	69	69	20	26
	暖房	27	64	69	30	1
	冷房	60	69	86	108	7

##### ・熱需要に合わせたコジェネシステム導入規模の調整

需要側の電力、熱需要のバランスは電力側に傾いているので、コジェネシステムの出力を無駄にしないためにはコジェネシステムの熱供給量を基準に全体の導入規模を決定した。

##### ・需要側最終機器としてガス吸収式冷温水器やガスヒートポンプ等を検討

需要は電力、暖房（給湯を含む）、冷房とわけられるが、今回の評価では冷房需要はガス吸収式冷温水器、ガスヒートポンプ(GHP)、電気ヒートポンプ(EHP)を用いて満たす事とした。ガス吸収式冷温水器の性能を Table3 に示す。

Table 5 ガス吸収式冷温水機の特性

冷房		COP	暖房		COP
Input[Tcal/y]	0.461		Input[Tcal/y]	0.269	
Ele.	0.045		Ele.	0.013	
Gas	0.416		Gas	0.256	
Output	0.424	1.02	Output	0.211	0.83

### 5.3.2 評価方法

発電容量300kWのプラントを基準に導入規模を算出した。

$$\text{導入規模(発電容量)} = 300kW * \frac{\text{総熱需要}}{\text{熱供給能力(300kW級)}} \quad (9)$$

そして年間の投入エネルギーは以下の様に決定した。

$$\begin{aligned} & \text{投入エネルギー} = \text{コジェネ年間都市ガス消費量} * \text{都市ガスエネルギー原単位} \\ & + \frac{\text{初期投入エネルギー}}{\text{耐久年数}} + \text{不足電力} * \text{買電エネルギー原単位} + \frac{\text{不足冷房需要}}{\text{需要機器冷房効率}} \quad (10) \\ & * (\text{都市ガスエネルギー原単位} * \text{需要機器の都市ガス利用割合} \\ & + \text{買電エネルギー原単位} * \text{需要機器の電力利用割合}) \end{aligned}$$

ただしここで最終需要機器冷房効率は需要機器への投入エネルギーに対する冷蔵出力の比である。年間CO2排出量に関しても同様の方法を用いて算出した。

### 5.3.3 評価結果

発電システムの燃料のS/Cへの出力性情の依存をFig.10に示す。総合熱効率に関しては理想的に熱回収できるという設定のため80%程度の値で依存はなかった。しかし発電効率に関してはS/Cとともに急激に改善し、S/C=1.5で61%を示した。これは排熱を90%回収し、燃料の余熱にまわしたため十分に熱が得られたので、水蒸気添加の熱負荷を相殺できる為と考えられる。またS/C=2.0でもアノード過電圧がほとんど変わらないため同様の発電効率が得られている。水蒸気添加量が大きいためS/C=1.5と比較して排熱が幾分多い。

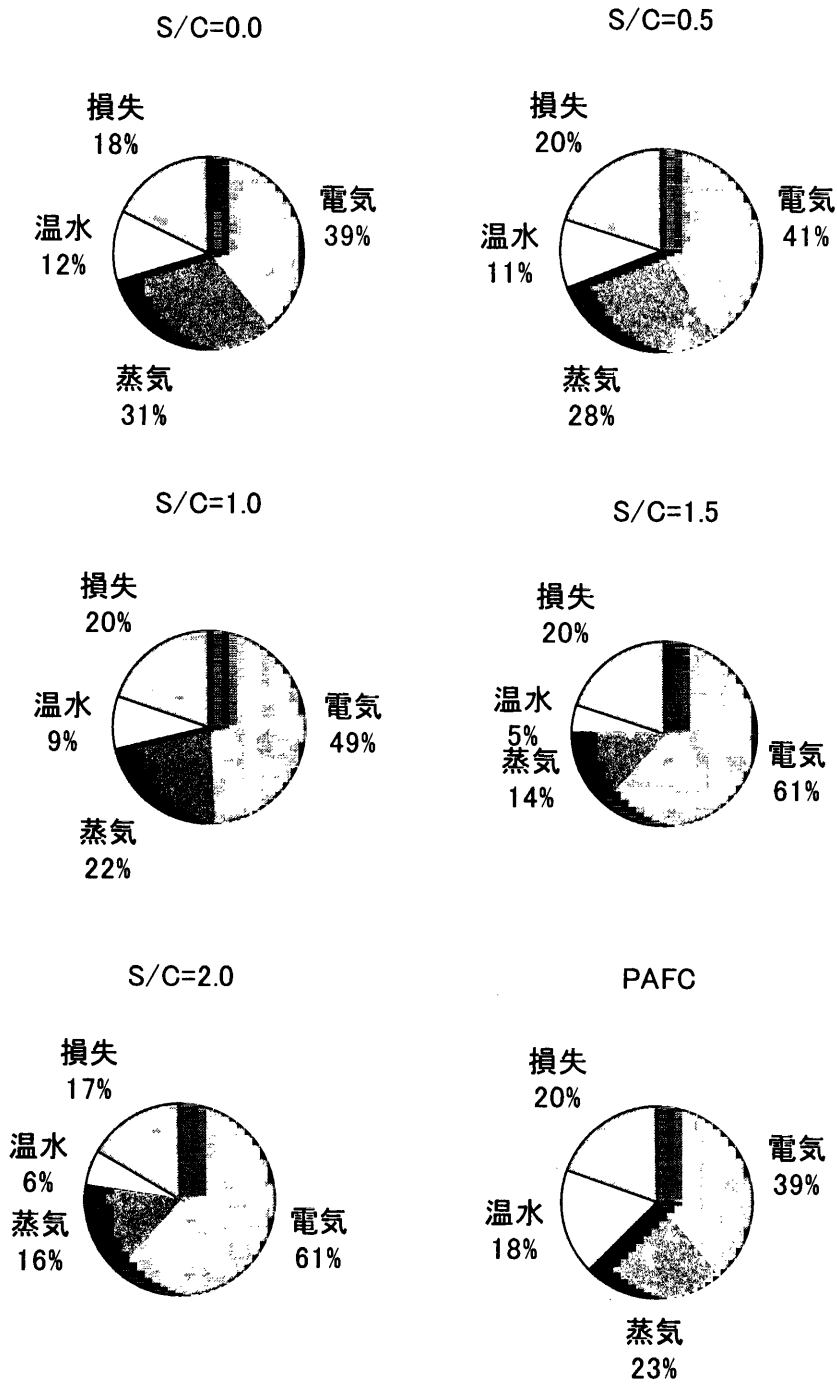


Fig.10 SOFC コージェネシステムのエネルギー出力配分

「年間総エネルギー投入量」を Fig. 11 に示す。SOFC の操作条件である S/C を変化させるに従い、有効に利用されるエネルギー中の熱供給の割合が減るため、SOFC の導入規模が増えている。このため、都市ガス精製に関わるエネルギー投入量の増加は SOFC で消費される都市ガス分である。また、S/C=2.0 では発電効率は変わらないにもかかわらず、熱供給量が増大するため、総合熱効率とは逆に S/C=1.5 の導入規模が増えるため、エネルギー投入量が減少する。

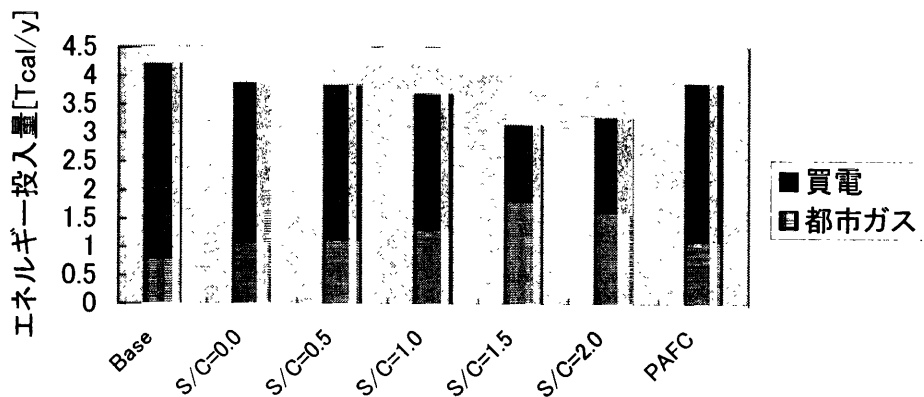


Fig. 11 年間総エネルギー投入量

「年間総 CO<sub>2</sub> 排出量」を Fig. 12 に示す。基本的に温熱需要を全てコジェネシステムに置き換えるので、S/C=0 では、対照の排出量に比べ同じ比率で電気と熱を供給する場合、総合効率が高いため、CO<sub>2</sub> 排出が減る。しかし、発電においては原子力、水力等の評価上 CO<sub>2</sub> を排出しないシステムが存在するので、現行の買電の総合した単位電力当たりの CO<sub>2</sub> 排出量が小さい。そのため、出力中の電力費が大きい、S/C=1.5 等では熱供給に関する CO<sub>2</sub> の低排出量を相殺し、かえって多くの CO<sub>2</sub> を排出する結果となっている。

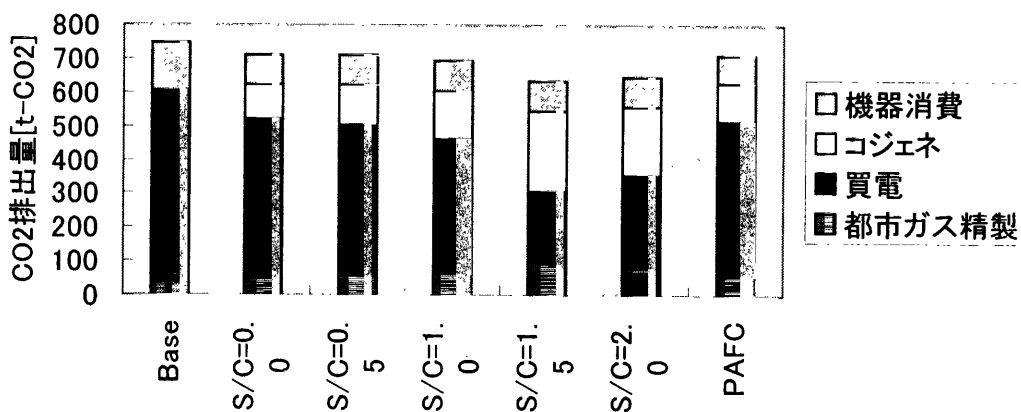


Fig. 12 年間総 CO<sub>2</sub> 排出量

「需要別エネルギー投入量」を Fig. 13 に示す。今回の評価では、出力のエネルギーを荷重として、エネルギー投入量を荷重配分を行った S/C によらず総合エネルギー効率はほとんど同じ為、暖房需要のエネルギー投入は一定の値を示した。また、S/C に従って、導入量が増えるため、発電効率の高さが反映され、電力需要のエネルギー投入量が小さくなっている。ここで EHP だけの特徴として、冷房需要を電気で賄っているため、冷房需要もエネルギー投入量が減少している。

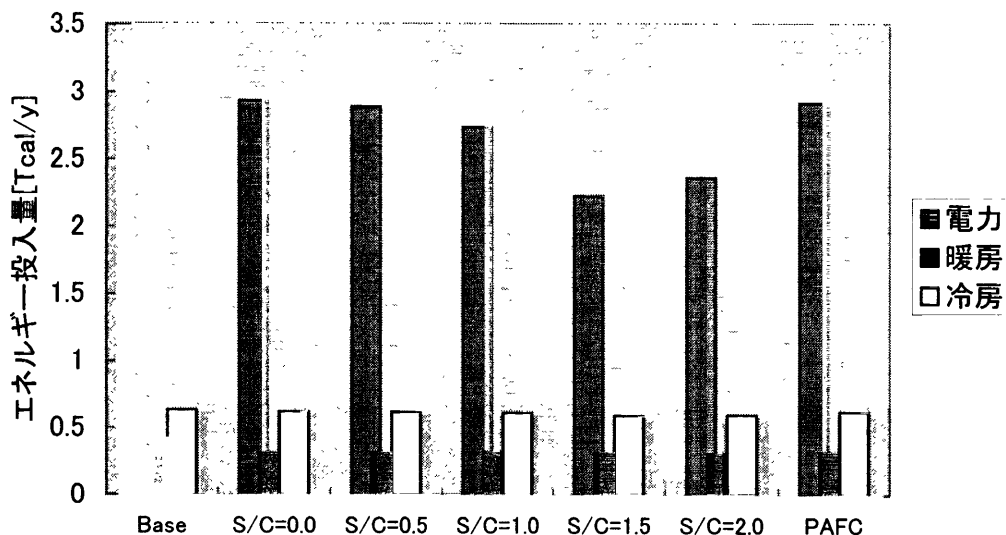


Fig. 13 需要別エネルギー投入量

「需要別 CO2 排出量」を Fig. 14 に示す。暖房需要をみると需要側機器として GHP を用いた場合と EHP を用いた場合は SOFC の導入はすぐに CO2 増加につながっている。これは GHP や EHP を使った熱供給の方が CO2 排出量が小さいためである。

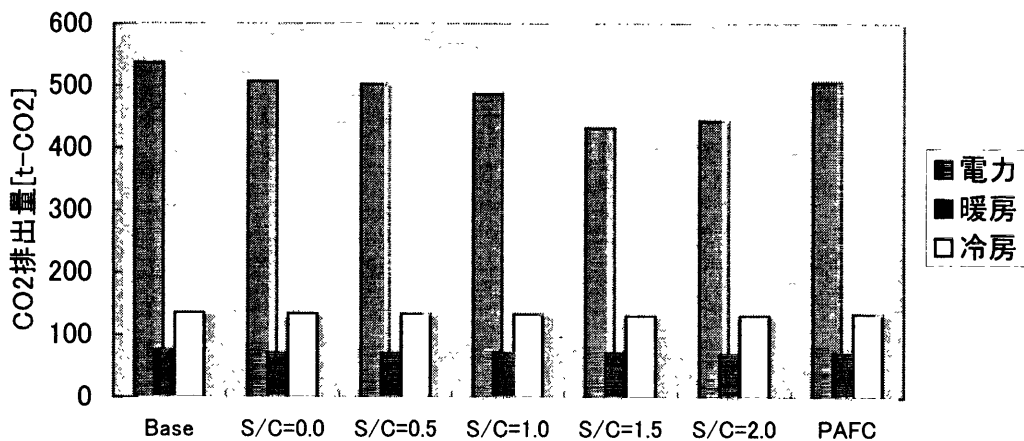


Fig. 14 需要別 CO2 排出量

「エネルギー収支」を Fig. 15 に示す。エネルギー収支から見ると電力供給は買電に比

較して SOFC の方が発電効率の高いので導入規模が大きいほど良くなる事がわかる。発熱効率は無論それを目的とした機器に比べれば劣るので導入すれば悪くなる。S/Cが増え、発電効率が上がると共に発熱の効率が落ちている事がわかる。これは水蒸気の熱負荷がコジェネシステム内部で生じる熱の一部を消費してしまうためと考えられる。

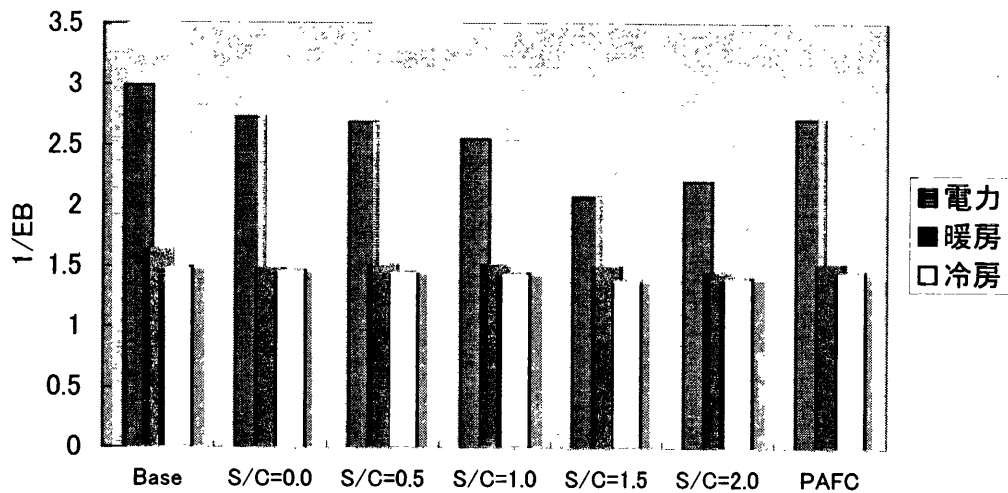


Fig 15 エネルギー収支

「単位エネルギーあたりのCO2排出量」をFig 16に示す。他の結果でも同様の傾向があるが、冷房需要のEHPがもっともCO2排出が少ない。しかし、SOFCを導入すると暖房需要において大幅なCO2排出量の増加を示す事になる。

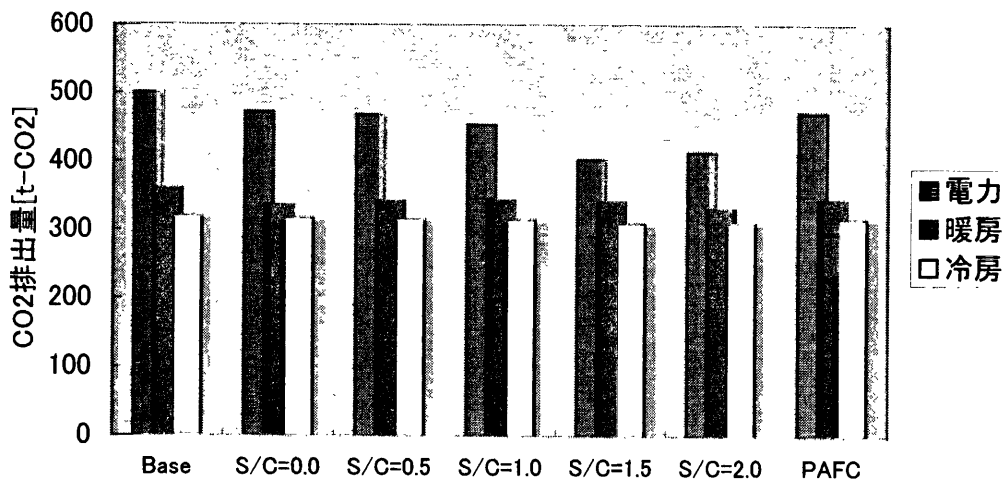


Fig 16 単位エネルギーあたりのCO2排出量

本評価を行うにあたり、コジェネシステムを含む需要システムでの総合的な効率を重

視したため、需要システムの熱需要を以って、コジェネシステムの導入規模の限界とした。このことは全体的に需要システムにおけるコジェネシステムのシェアを抑制してしまい、効率の改善等の利益を過小に評価する原因となっているように思われる。現実の状況としてはビルへのコジェネシステムの導入後の運転は熱需要が少ないときは或る程度排熱を捨て、熱需要の多いときはボイラー等の直接燃焼で補うなどしている。この点を考慮すると、電力や熱の需要の季節変動、日時変動を検討するとともに、需要のピークをカットするような、蓄電、蓄熱するシステムの検討が必要になってくると考えられる。

## 6 結論

実験においては  $S/C < 1$  の条件下ではセルに顕著な電極性能の劣化が生じる事がわかった。高濃度の実験下では、希薄燃料で観測された様な大電流での反応機構の変化は観測できなかった。しかし水蒸気導入によって反応機構が希薄燃料の反応機構の変化と同様に变化する事が確認された。 $CH_4$  の存在する条件では電極性能の低下が生じている事から、 $CH_4$  が電極性能の低下の原因のひとつであることが明らかになった。また  $CO$  のみでも若干の電極性能の低下がみられることから  $CO$  も原因のひとつであると共に、 $CO$  の影響は  $CH_4$  に比べてかなり小さい事がわかった。以上の結果および、燃料極側を酸素で焼いたときの排気に  $CO_2$  が含まれる事、その結果再び性能が回復する事などから、電極性能の劣化が  $CH_4$  の熱分解による炭素析出が第一の原因であることがわかった。また  $S/C = 1$  以上では炭素の析出も少なく、アノードの過電圧も小さい事から炭素析出の抑制がアノード過電圧の抑制につながる可能性が考えられる。

SOFC の通電時の起電力が低下する事が確認された。水素燃料での実験ではアノード側での酸素濃度を供給水素と電流によって供給される酸素から考えられる平衡の酸素濃度で与えられる起電力と良い一致を示した。これを炭化水素についても同様と考えれば、供給燃料と電流による酸素から平衡を計算し、平衡酸素濃度を算出する事によって閉回路の起電力を算出できると考えられる。

システムの評価としては、コジェネシステムとして燃料電池を導入する事はエネルギー収支の面では大変有効である事がわかった。また、 $S/C = 2$  までの結果としては、 $S/C$  が高いほどそのコジェネシステムの総合熱効率が高くなる事がわかった。これは単セルが  $S/C$  の上昇に伴い、水蒸気添加の為の熱負荷の増大が起こることに見矛盾するが、コジェネシステムとして十分な熱回収を行えば  $S/C = 2$  程度までの熱負荷を補ってあまりある熱供給が行えるためである。

$CO_2$  の排出については  $S/C$  の上昇に従い、コジェネシステムの導入規模の増大にともなって増えてしまった。これは火力発電が 40%程度で発電をおこなっているのに対し、発電効率の高い燃料電池システムを導入した事で  $CO_2$  排出量の削減が行えるであろうという、当初の展望とことなる。この原因は電力の  $CO_2$  排出量の原単位にあると考えられる。つまり  $CO_2$  排出量原単位は、各種発電システムの  $CO_2$  排出原単位とその発電割合から求められているが、このシステムの  $CO_2$  排出原単位の計算において大きな部分をランニング排出分が占める。発電システム稼動にあたり原子力



発電および水力発電ではCO<sub>2</sub> 排出を行わず,日本の発電構成としてその二種類の和が40%程度を占めているため,電力全体のCO<sub>2</sub> 排出原単位は火力発電に比べ小さく評価されているのである.

## 7 参考文献

- 1)R. Kilowatz, K. Flad, and G. Horz,J. Vac. Sci. Technol.A 5(4),Jul/Aug,1009-1014,1987
- 2) H.J.Grabke, E.M.Petersen, and S.R.Sriviasan,Surf. Sci. 67(1977)501-516
- 3)H.J.Grabke, E.M.Muller,Scr. Met.,Vol.14 pp.159-162,1980