[Session 5] 高温プロセスにおける無機材料*

斉 藤 進 六**

昭和46年10月18日(月)14:00~17:00

チェアマン 斉藤 進六(東京工業大学
工業材料研究所)

スピーカー 「エネルギー発生と高温材料」
鈴木 弘茂(東京工業大学
原子炉研究所)
「高温材料の選択と使い方」

パネルメンバー 「セラミックコーティング(セラミックスに
よる金属の高温腐食防止法)」
田中 広吉(科技庁無機材質研究所)
「高温プロセスにおける新しい炭素材料」
石川 敏功(日本カーボン(株))
「高温モニター材料」
柳田 博明(東京大学)

高温プロセスは周知のように、単に工程に必要な温度が高いばかりでなく、著しい化学反応を伴う。この反応を目的とする反応系内にだけ止めておけば問題はないわけであるが、雰囲気ガスとの反応、接触する融液との反応、あるいは目的の最終製品との反応など、気相、液相、固相反応をとりまとめて、反応装置の構造材料とはげしい反応を起こし、ときには原子炉のように放射線さえも関与する。これをどのように防止し、制限しようかというのを、材料面から見ると、金属、有機材料よりも、はるかに高温で安定である無機材料が浮び上ってくる。命題のようなセッションを“’71化学プラント技術会議”に盛りこんだのは、このような理由からである。

主題は東京工業大学原子炉研究所教授鈴木弘茂氏により「原子炉の材料と高温材料」、旭硝子(株)研究所研究部長永広彰夫氏より「高温材料の選択と使い方」が提起され、その趣旨はつぎのようであった。

まづ鈴木氏のスピーチは原子炉は現在かならずしも高温炉とはいえないが、近い将来に高温化は熱効率を上昇させるための必須条件として考えられており、たとえばアメリカ、ドイツで現在750~850°Cのものが30万kWぐらいの出力で稼動しているが、次のステップとして1,000~1,100°Cのものは確実に出現するであろう。そしてMHD(Magneto-Hydro-Dynamic)発熱その他の高温化学プロセスに利用されて順次に温度が下ってき

たところで Water boiler 発電にもっていけば、効率は60%を下らない。これによれば、石油、石炭などのいわゆる化石資源を利用するより電力は安価になり、それらの約半分の価格となるであろうという将来像を述べ、わが国においては現在原子炉発電は84万kWであったが、10年後は4,655万kWに達すると具体的数字をあげ、しかもこの発電法は、最初から廃棄物処理が厳重に管理され、公害防止に役立つであろうと強調した。図1はこのような要望にこたえる一つのタイプである高温ガス冷却型原子炉の例でドラゴン計画委員会設計の出力63万kWの商業発電所用のものである。この型のものは実験的には1,310°Cまで温度上昇させたものもあり、燃料、被覆材、減速材にいたるまですべてセラミック材料

1. コンクリート製圧力容器	7. 冷却ガス出口室
2. 炉心と反射体	8. 熱遮蔽体
3. ボイラー	9. 炉心支持機構
4. Heガス循環機	10. 燃料貯蔵室
5. 燃料取換機	11. 燃料交換用管
6. 冷却ガス入口室	12. 制御棒案内管

図1 高温ガス冷却型原子炉の一例
(電気出力63万kWの商業発電所用)
(ドラゴン計画委員会設計)

* 昭和46年12月15日受理

** Shinroku Saito 東京工業大学工業材料研究所

であるという特色を有している。

図でわかるとおり、普通コールド・ホール型のような低温（冷却材出口温度 285°~320°C）で用いられるものは厚い鋼製の容器で囲われているが、これはコンクリート製圧力容器であり、将来はプレストレスコンクリートが鋼にかわり大型化もかえて容易である。また燃料は金属ウランのかわりにその酸化物、炭化物が用いられ、²³⁸U、²³²Th をそれぞれ ²³⁹Pu、²³³U などに変えていくところの転換炉、増殖炉の燃料も、²³⁹Pu、²³³U の酸化物、炭化物が用いられるようになるであろう。

このために、では、原子炉の高温化に伴い、その材料はどのような性質が要求されるのであろうか。表1は原子炉の構成要素と使用される無機材料であって、鈴木氏はまずこれらは原子炉用材料に特有の核的性質、放射線耐性が満足させられなくてはならないと説明し、しかる上で、高温に耐える性質、すなわち、熱伝導度、機械的強度、耐蝕性が十分用途に適応するものでなくてはならない

表 1 原子炉の構成要素と使用される無機材料

核燃料本体 (ミート)	<u>UO₂</u> , (<u>U-Pu</u>)O ₂ , ThO ₂ , (<u>U-Th</u>)O ₂ , UC, (<u>U-Pu</u>)C, <u>UC₂</u> , <u>ThC₂</u> , UN, PuN, U-Pu-C-N など
同上希釈材 あるいは結合材	炭素, 黒鉛, SiC, BeO
同上被ふく材	パイロカーボン, パイロ SiC, ZrC
ス リ ー プ	黒鉛
減 速 材	黒鉛, BeO
反 射 材	黒鉛, BeO
制 御 材	B ₄ C, Gd ₂ O ₃ , Sm ₂ O ₃ , Dy ₂ O ₃ , ZrB ₂ など
遮 蔽 材	セラミック耐火断熱材
生 体	
構 造 材 (容器を含む)	コンクリート, 黒鉛, B ₄ C-黒鉛 P.S. コンクリート, Al ₂ O ₃ , ZrC など

注) _____ は現在実用されるに至っているもの

と解説した。その要点を述べれば、核分裂物質に対し、中性子はあたかも、普通の燃料における酸素のような役割をし、酸素濃度に相当する働きを、中性子濃度と中性子速度が果す。核分裂によって生じたばかりの中性子は1万 km/sec 以上に達する高速なもので、あまり早いと²³⁵U の核分裂を効率よく進めることができず、約2,200 m/sec ぐらいの遅い熱中性子にかえてやらなければならない。この役目を果すのが減速材である。これには、中性子が衝突してエネルギーを失って行く割合は衝突相手の質量数が小さいほど大きいという性質 ξ 、元素の核が中性子を散乱させる程度をあらわす中性子散乱面積 σ_s 、および単位体積 (1cm³) 中にふくまれる原子核の数 N によって定まる減速能 $\xi N \sigma_s$ が大きいことが必要である。このうち ξ は平均対数エネルギー損とよばれ、 A を減速材の原子の質量数として、 $\xi = 2 / \left(A + \frac{2}{3} \right)$ であらわされる。 A の小さな BeO, C が用いられるのはこのため、また σ_s も Be は 6.1, C は 4.7 というように大きい。 N は当然密度を増せば大きくなる量であるから、高密度のものが望ましく、見掛け密度を考慮に入れた $\sigma_s N$ を Σ_s [cm⁻¹] であらわせば、密度 2.90 の BeO は $\Sigma_s = 0.0699$ /cm, 密度 1.81, 1.65 の黒鉛はそれぞれ $\Sigma_s = 0.430$ /cm および 0.391/cm である。もう一つの核的性質は熱吸収断面積 σ_a であって、 σ_a が小さいものは減速材としては中性子濃度を減らすことなく、能率よく速度だけを落とすことができ、Be では 0.009, C では 0.00373, また化合物の場合前記の BeO は $\Sigma_a = 0.000643$, 黒鉛は密度 1.81, および 1.65 であるものに対しそれぞれ $\Sigma_a = 0.000339$ および 0.000309 で十分小さいといえる。すなわち、 σ_a が大きく、 σ_a が小さいものが減速材としては望ましく、 $\xi N \sigma_s / N \sigma_a = \xi \sigma_s / \sigma_a$ なる $\xi \sigma_s / \sigma_a$ を減速比といい、これが大なることが望ましい。しかるに、B や希土類元素は Be, C に較べて、 σ_a が 10 万~1,000 万倍も大きく、熱中性子を有効に吸収させるのに役立つので、これらを炉心に挿入して中性子を減らしたり、抜き出して増したりすることができるので制御材として用いられる。注目すべきことは、1,000 万倍もの吸収する能力があるから、減速材の中には、これらが 100 万分の 1 以上含んで

表 2 元素および無機材料の核的性質

元 素	ξ	σ_a	σ_s	化 合 物	分子量 (約)	密 度 [g/cc]	原 子 核 数 核数/cc $\times 10^{-24}$	Σ_s [cm ⁻¹]	Σ_a [cm ⁻¹]	ξ	$\xi \Sigma_s$	$\xi \Sigma_s / \Sigma_a$
H	1.00	0.332	20.3	H ₂ O	18	1.00	0.0335	1.50	0.0222	0.917	1.37	61.7
H=D	0.726	0.00057	3.3	D ₂ O	20	1.10	0.0331	0.358	0.0000444	0.491	0.176	3.960
He	0.428	0.0	1.55	BeO	25.0	2.90	0.0699	0.720	0.000643	0.173	0.125	194
Be	0.208	0.009	6.1	黒 鉛	12	1.81	0.0908	0.430	0.000339	0.158	0.0680	201
B(19.8)	0.187	4.017	3.8		12	1.65	0.0828	0.391	0.000309	0.158	0.0618	200
B(80.2)	0.171	0.005		Al ₂ O ₃	102	3.95	0.00233	0.357	0.0103	0.112	0.0400	3.88
C	0.151	0.00373	4.7	SiC	40	3.20	0.0482	0.308	0.0122	0.135	0.0416	3.41
N	0.137	1.88	11.2	SiO ₂ (ガラス)	60	2.65	0.0266	0.269	0.00666	0.112	0.0301	4.52
O	0.121	<0.0002	4.2	B ₄ C	56	2.5	0.0269	0.535	85.5	0.161	0.0861	0.00101

図 2 被ふく粒子燃料の断面図の一例
(核の直径は 100~800 μ)

はいけない、したがって、不純物を 0.1 ppm 以下におさえた高純度材料が要求される。表 2 は鈴木教授の資料のなかから抜き書きしたものである。

つぎに放射線に耐える性質は、原子炉内の反応による核分裂破片、中性子、 α 線、 β 線、 γ 線などであるが、最も注目すべきものは高速中性子と γ 線である。しかし有機材料は γ 線に弱い、結晶のしっかりしているセラミック材料は、非晶質のガラスが着色するなどを除いては、むしろ γ 線には強く、問題は高速中性子ということになる。これは電荷をもっていないので、あたかも結晶中を気体運動のように自由に行動し、格子点の原子と衝突しては格子から外して格子欠陥を生ぜしめ、跳ね飛ばされた反跳原子はまた高いエネルギーで他の原子に衝突してこれを変位させ、材質によっては電子状態も変化する。これに伴い X 線回折図形が変化し、一般に格子面間距離が増大する。体積が増加し密度が減る。色中心を生じ着色あるいは変色する。熱伝導率は相当低下する。電気伝導度も減少する。強度、硬度、弾性率は一般に増加するが、微小亀裂の発生などで減少することもある。成分元素の拡散速度は増大し、相転移の起こることもある。注意すべき点は、これらの放射線損傷は高温では熱振動で、かえって回復することもあるが、大量の照射では回復出来ないばかりか高温下で結晶内に空洞を生ずることがある。

これらの基本的立場に立つてつぎに核燃料として使用される U, Th, Pu の酸化物、炭化物、窒化物などが論ぜられ、SiC などが被覆粒子燃料の被覆材として用いられる具体的例として図 2 の BISO 型および TRISO 型のが示された。パイロカーボンを透過する Ba, Sr などの核分裂生成物が SiC の障壁によって内部に閉じこめられるわけである。

炭素材料、 Al_2O_3 、 MgO 、 ZrO_2 、 SiO_2 などは鈴木氏のスピーチでもとくに原子炉用としての立場から述べられたが、さらに一般的に言えば、第 2 番目のスピーカーである永広氏の高温材料の選択および使い方の中でも取り

図 3 $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ の相平衡図

あげられた材料であって、まず永広氏は酸化物の耐火物を SiO_2 (酸性)、 MgO (塩基性)、 Al_2O_3 (中性) との 3 元系から説明し、三角形相図の周辺組成より内側に入るにつれ低融点化合物となることを示しいわゆる高温組成物の標準を解説した。周辺組成鉱物は SiO_2 (1723°C) の 2 形 Cristobalite, Tridymite, $MgO \cdot SiO_2$ (1557°C, Protoenstatite), $2MgO \cdot SiO_2$ (1900°C, Forsterite), MgO (2800°C, Periclase), $MgOAl_2O_3$ (2135°C, Spinel), Al_2O_3 (2020°C, Corundum), $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ (1850°C, Mullite) であり、3 元系の代表的なものは $2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$ (Cordierite), $4MgO \cdot 5Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ (Sapphirine) がある。金属側元素からいえば 2 価 (Mg, Ca, Be, Fe) 3 価 (Al, Cr, Ce, Y, Fe) 4 価 (Si, Zr) の酸化物 3 元系が耐火物の基礎である。そして選択の方針として、耐熱性、耐熱衝撃性、耐蝕性、その他電気抵抗など目的に応じた特殊項目をあげ、これらはきわめて複雑でコンピューターの発達した現在にあっても、なお試行錯誤の繰返しではあるが、基礎的実験の拡充によって、漸次、物性の解明を進め、シミュレーションの可能なシステム化を図ることによって、困難な仕事ながら不断の努力を重ねるならば、その可能性を見いだせるとしている。そして、これら上述の諸性は、いわば二次的性質であって、それをきめる一次的性質との関係を次のように示した。

すなわち、高温の機械的性質は耐熱性および外力に対する変形抵抗を意味するものであり、一次要因は融解温度、共融、ガラス質の粘性と量、転移現象、分解現象マクロの構造強度であるとし、耐熱衝撃性は熱応力に対す

表3 特殊な高温材料の用途例

高温材料の種類	おもな用途の例
電融マグネシアブロック	MHD 発電機発電部絶縁壁材
ベリリア (BeO) 系耐火物	MHD 発電機発電部絶縁壁材, 原子炉減速材
トリウム (ThO ₂) 系耐火物	超高純度金属融解容器
ウラニア (UO ₂) 系	原子炉原子燃料
螢石 (CaF ₂) るつぽ	金属ウラン精錬
特殊黒鉛	原子炉減速材, ロケット構造材, ホットプレス型材
炭化硼素 (B ₄ C)	原子炉制御材, ロケットおよびガスタービン構造材
窒化硼素 (BN)	石英熔融用容器, ロケット構造材, 超硬材料
窒化珪素 (Si ₃ N ₄)	SiC 耐火物結合材, Al 鑄造用, 半導体金属精製容器
ジルコニア (ZrO ₂) 系	セラミック電極 (MHD 発電用など), 抵抗発熱体
硼化物系材料	セラミック電極
珪化モリブデン (MoSi ₂)	抵抗発熱体
サーメット類	ガスタービン翼
セラミックコーティング類	航空機エンジン, ロケットノズル, 工業炉内の金属表面保護など

表4 セラミックコーティングの種類

名 称		被 覆 方 法	備 考
ほうろう (Porcelain Enamel)	焼 付 け	ガラス質のうわぐすりを焼付ける。	500°C 以下の耐熱密着力強, 耐食性良好。
グラスタイプセラミック・ コーティング (Glass-type Ceramic Coating)	焼 付 け	耐火性セラミック粉末を含むうわぐすりを焼付ける。	600°C~1,000°C の耐熱急熱急冷に強い。
セラミックメタル・コーティング (Ceramic-Metal Coating)	焼 付 け	耐熱性金属粉末を含むうわぐすりを焼付ける。	密着性良好, 1,500°C 以上に耐えるものもある。
フレイムスプレー・コーティング (Flame Spray Coating)	溶 射	耐火物質 (主として酸化物) を酸素・アセチレン炎で溶融し噴射する。	1,500°C 以上の耐火, 断熱かさ大, 耐摩耗性良好, 気孔率 8~12% あり。
プラズマスプレー・コーティング (Plasma Spray Coating)	溶 射	超耐火物質 (主として炭化物, 酸化物) をプラズマ炎で溶融し噴射する。	1,500°C 以上の耐火, 断熱表面硬化, 気孔率は上の溶射より少なし。
ペーパー・プレーティング (Vapor-Plating)	化学的蒸着	金属表面で, 金属塩が化学反応を起こして金属, 酸化物, 炭化物, ほう化物, けい化物などの皮膜を形成する。	耐熱度各種のものあり, 小型のものに適する。
ソリューションセラミック・ コーティング (Solution Ceramic Coating)	分解付着	金属表面で, 金属塩が熱分解してその酸化物となり付着する。	はだが平滑, 被膜多孔質でナイフでできずがつく。
セラミックライニング (Ceramic Lining)	塗 布	耐火物粉末を結合剤とともに塗布して硬化させる。	耐熱度各種, 現場の大型のものに適する。

る耐性を意味し, 一次要因は破壊強度, 弾性率, 熱膨張率, 熱伝導率, マクロ的形狀であるとし, また, 耐蝕性は耐摩耗性も含めて物理的・一次要因は気孔率, 通気率, 組織的構成および泡などの反応生成物による誘因, 化学的・一次要因は多くの場合に選択的・反応ではあるが材料と反応物質の組成, 外周雰囲気 (O₂, H₂O の分圧など), 反応生成物の種類, 物性, 電気化学的要因であるとしている。これを要する永広氏の論旨は characterization (性格づけ) を行なうことによって, property を原子的性格 (atomic character), 微視的性格 (micro-character) および巨視的性格 (macro-character) の立場から捉えることによって系統化し得ることを説明している。そして材料の character はその組成と組織 (欠陥を含む) から定め得るものであるから, 高温材料の性質性能を測定する試験法が確立されることが必要であるとし, いろいろの測

定法を述べ, セラミック繊維, セラミック被覆さらに複合材料について説明したほか表3のような特殊高温材料とその用途例を示した。ここに MHD 用の材料として電融マグネシアブロック, ベリリヤ系耐火物があげられているが, MHD と原子炉との関係は鈴木氏も説明したところで興味深く, 今後の材料問題の指向を物語るものであった。

2 人のスピーカーの話題提供があつて後, セッションは短い休憩に入り, この間, 質問票が集められた。この中には午前中の“セッション4”の国井氏の話題に関係するものもあり, 石炭のガス化装置 (液中接触型) の材質に対しては, 具体的なことがわからないので確答はできないが mulite 質あたりが妥当であろうという見通しがあたえられた。還元雰囲気使用の工業炉のレンガの“セリ出し”対策 (雰囲気, CO (20%), H₂ (40%), CH₄ (2%),

図4 電極寸法別の通電電流

N_2 (Balance))に対しても詳しい構造、耐火物がわからないので確答は保留されたが、 SiO_2 はこの雰囲気では還元されて SiO 蒸気が出てセリ出しの原因となる。 Fe_2O_3 が FeO となり Al_2O_3 とspinelをつくることなどが説明された。高アルミ耐火物の耐熱衝撃耐性に対しては、 BeO 、 Al_2O_3 はとくに低温の熱伝導が良いために、耐衝撃性が良いこと、impurityにより急激に熱伝導率が下がりこれが耐衝撃性を劣化させることが説明された。

このほか、二つの質問に対しては次の田中氏および石川氏のディスカッションに関連して述べることにし、休憩後のパネルには鈴木、永広両氏のほかに、科学技術庁の無機材質研究所総合研究官の田中広吉氏よりは“セラミックコーティング”，日本カーボン(株)専務取締役の石川敏功氏からは“高温無機材料としての炭素製品”，また東京大学工学部助教授の柳田博明氏からは“高温モニター材料”がそれぞれ論議された。その要旨をしるすと、田中氏はセラミックコーティングの種類を表4のように説明した後、試験法、用途をのべた。用途の一例として、飛翔機に対してはロケット燃焼室、ノズルコーン；製鉄冶金工業には熔鉱炉羽口、鑄造鋳型、熱処理ローラー、発熱体；機械工業にはポンプシャフト、メカニカルシール、粉砕機インペラー、また電気工業には各種コア、コイル、高周波コイル、ヒーター、遮断器などの電気絶縁

および断熱である。

ここで、質問として——熱膨張係数の異なる場合のコーティング物質の剝離または割れに対する対策が提出されたが、それに対する答えはまず密着性をよくすることが大切で、これには相互の濡れのよいものを選ぶ。0.25 m/m 位に金属表面を荒らしてからコーティングする。サブストレートの温度が適当でなくてはならない。第2にコーティングにかかる機械的歪を小さくしなくてはならない。すなわち、コーティングが薄いほど、また曲率半径が大きいほどよい。例として Jet engine で 18-8 ステンレス鋼に 0.03~0.06 m/m のコーティングをした場合、900°~1000°C から水で急冷しても剝離は認められなかったというディスカッションがあった。

ついで石川氏の討論では、アーク炉用人造黒鉛電極が耐熱衝撃性、耐酸化性を要求される苛酷な条件で使われるところの高度耐火物の代表であるとして説明があり、とくに電気製鋼法が、単に特殊鋼の製鋼方法であるばかりでなく、普通鋼の分野にも進出し、250トンアーク炉さえも操業されていることを指摘した。そして近い将来において Ultra High Power 操業が指向せられることに言及し、図4を説明した。UHP電極の条件は、1) 耐熱衝撃性が大、2) ホルダー下の部分の赤熱が少ない、3) 異常なサイドロスを示さない、4) ボールとニップルの接

表 5 ガラス状カーボンと他種カーボンとの特性比較
(結晶の a 軸に平行方向, $\perp a$ に直角方向)

特 性	種 別	ダイヤモンド	ガラス状カーボン	普通級カーボン		不透性黒鉛	再結晶黒鉛 (UCC)
				炭 素 質	黒 鉛 質		
密 度	[g/cm ³]	3.52	1.0~1.6	1.50~1.60	1.55~1.65	1.80~1.90	1.90~2.16
電気抵抗率	[$\times 10^{-5}\Omega\cdot\text{cm}$]	$10^{17}\sim 10^{18}$	100~1,000	300~500	80~100	80~100	50~80 $\perp 150\sim 200$
熱伝導度	[cal/cm $\cdot$ sec $\cdot$ °C]	0.35	0.01~0.04	0.01~0.02	0.3~0.4	0.3~0.4	0.4~0.5 $\perp 0.1\sim 0.2$
熱膨張係数	[20~100°C $\times 10^{-5}/$ °C]	1.45	2~3	2.0~3.5	1.5~3	2.0~3.5	1.5~3 $\perp 10\sim 20$
引張り強さ	[kg/cm ²]	—	400~700	80~120	70~110	150~200	1,000~2,000
弾 性 率	[kg/mm ²]	—	1,000~3,000	800~1,200	600~1,000	1,300~1,500	3,000~4,000
透 気 率	[cm ³ /sec]	—	$10^{-9}\sim 10^{-12}$	10	10	$10^{-3}\sim 10^{-4}$	$10^{-2}\sim 10^{-12}$

結部がゆるまない, 5) 折損による損耗が少ない, 6) 製鋼トン当りの原単位が低いことである。石川氏の第2の話題は耐熱不透性黒鉛で多孔質の黒鉛材料にフェノール樹脂, アルキルベンゼン系変性フェノール樹脂, フラン樹脂および DVB (ジビニルベンゼン) モノマーを含浸させて熱硬化させ, しかる後炭化する。したがって炭化残量は多いほどよく, それを改良するために, DVB の場合, 空気中で 250°—250 hr の前処理を行なうといことが知られているが, これは DVB が構造中に酸素を含まないため, 微量の酸素下でしかも酸化消耗が起らない程度の温度で熱養生すると水酸基, カルボキシル基が形成して熱硬化樹脂中の発達した架橋結合を破壊することなく脱水素できるからで, 多くの示唆に豊かな工程であり, 一般に炭化する有機物が固体, 液体, 気体に対応して炭化の状態が異なってきた, 固体からは黒鉛化が困難で, 液体からは黒鉛化が容易である。これは 400° 位で球状の一種の液晶のようなものが観察されるといわれ, いわゆるメソフェーズがあらわれる。気体からのものは異方性が著しく, そのためにかえて耐熱不透性黒鉛をつくるに適している。すなわちパイロリティックグラファイトは主として炭化水素を熱分解して, 1,500°~2,000°C に加熱された黒鉛基材表面に析出させ, 1) ガスに不透過, 2) 結晶の配向性のため熱伝導率など物理・化学特性に異方性あり, 3) 機械的強度大, 4) 緻密で熔融金属・ガラスに濡れない, 5) 高純度である等の特性がある, さらに石川氏はガラス状カーボンが DVB, セルローズ, フリフルアルアルコール, フルフラール・アセトン縮合物を出発原料として製造され, 1) 軽く, 2) 熱衝撃に強く, 3) 高温に耐え, 4) 機械的強度大, 5) 耐化学薬品性大, 6) 熱および電気良導体であることを説明した。表 5 は各種カーボンを比較したものである。

石川氏に対して 1,300°C で Hydro carbon をガス化する際の副生物であるスス状カーボン (テキサコ法) は多孔質であるが, これを電極へ利用できないかという質問がなされたが, これはかえって吸着用, 触媒用がよいのではないかと討論があった。

最後に柳田氏は温度測定の実理は体積, 電気抵抗, 熱起電力, 放射光の波長の変化を利用するが高温という極限状況では, 上記の物理量のうち高温測定にも有効であろうと思われるところの熱起電力も雰囲気によっては耐久性のあるものがないこと, 放射高温計では黒体条件が困難であるところから, a) 安定化ジルコニア固体電解質を用いた酸素濃淡電池の起電力, b) 熱電子放射現象を用いた陰極材として W, Ta などの高温用耐熱金属, あるいは酸化物の電気伝導率が高温で急激に低下して導体になるものを用いること, c) ThO₂, ZrO₂ 系のサーミスターを開発して耐熱材料の電気抵抗変化を用いることが可能であるという未来指向型の提案がなされた。

以上で, “セッション 5”の技術会議の概要を紹介したが, chairman の立場からの感想を最後に述べさせてもらえば, 参加者の関心も十分あり, 熱心な討議も行なわれたにもかかわらず, 一般的に見て無機材料への興味と理解は金属, 有機に較べてあまり高いとは思えず, それが参加者数となってあらわれてきていると考えられる。材料を制することは技術革命を制するものであるといわれる現在, しかも無機材料が果してきたエレクトロニクスへの役割が注目すべきものであったにかかわらず, いよいよ高温化が進み, 条件が極限化されて行くときにあたって, 確かに取りつきにくい分野ではあるが, 将来の実りの豊かなことの期待に満ちている無機材料への関心をさらに強く求めたいである。