

CANDLE 炉を巡る注目の高まりについて



東京工業大学
原子炉工学研究所
教授
関本 博 (せきもと・ひろし)

去る3月23日朝、大学のオフィスでメールソフトを起動してみると、知人から「今朝の日経に東芝とビル・ゲイツの記事が載っているが、これはあなたのやっている原子炉のことではないか？」というメールが入っていた。研究室の秘書さんのその日の最初の仕事は、駅の売店まで日経朝刊を買いに行くことになった。記事の話はすぐにピンときた。数日前、日経記者が別件で私の部屋を訪れたとき、ビル・ゲイツが中国を訪問したインターネット記事を教えてあげていた。これには最後にビル・ゲイツが東芝を訪問したことも少しだけ書かれていた。この記事をもとに東芝に取材に行くことは当然ありうることだと思っていた。しかし、秘書さんに渡してもらった日経朝刊には、1面トップに大きく扱われていたので、これには少し驚いた。この記事には私の名前は載っていなかったが、ここで取り上げられている原子炉が私の研究しているCANDLEという原子炉と似ているということは、革新的な高速炉に興味を持っている専門家なら多くの人が知っていることなので、その後またたく間に色んな取材を受けることになった。

本「原子力eye」もそのひとつである。どのような取材でもCANDLE炉とはなにかといった質問は必ずあるので、これについては本記事でまた繰り返すことはしない。CANDLE炉についての学術的内容は私のホームページに解説書載せている。但しかなり古いものなので、私がセンター長を務めるCRINESというセンターのホームページ < <http://www.crines.titech.ac.jp/> > にちゃんとした解説を載せようと思っているので、関心がおありの読者はそれをご覧いただき

い。

このような内容よりも、少し関心をもってくれた人達が必ず聞いてくる、「いつCANDLEのアイデアを思いついたのか？」とか「他にこのようなアイデアはないのか？」といった質問に答えるようなかたちで本文を書いてみたい。このような内容については書きやすいためか、色んな記事がインターネット上に出ているが、私が直接話していないものが多く、私には偏ったり歪曲されたりして書かれているように感じられるためである。

最初のアイデア

実はCANDLE燃焼のアイデアを思いついたのはいつのことか良く思い出せない。高速炉を勉強したときには、漠然とブランケット燃料を燃やし続けたらどのようなかといったこと等を含めて、色んな燃焼方法を考えていた。但し、燃焼方式だけでなく、高速炉に関しては最初に読んだ専門書がPalmer & PlattのFast Reactorという本であったこともあり、色々な高速炉を夢想していた。

これらの勉強が一通り済んだころ、日本原子力研究所(原研、現原子力研究開発機構)の夏期実習に行くことができた。そこで原子炉の核計算をやらせてもらった。驚いたことは、実習で使っている計算コードが、実際の設計にも用いられているらしいことと、しかも私でもすぐ作れるものであったことである。拡散方程式をガウスの消去法を使って解いていたが、これは大学で指数実験を解析するために既にプログラムを作成

したことがあった。また群定数にはアバギアンを使っていたが、アバギアンの本は私の指導教授の部屋の本箱にあることを知っていた。大学に戻った時、私の考えを指導教授にお話ししたが、もっと重要なことがあるということで、修士論文は京大炉に行って積分実験を行い、その実験結果を、自分で作成した輸送コードを使って得た計算結果と比較するという事になった。

修士論文は高速炉設計とはあまり関係がないように思えたので、終わったら原研に行こうと考えていたのであるが、そのころ動力炉・核燃料事業団(動燃、現原子力研究開発機構)ができて、原研はもはや高速炉はやらないと教えてもらった。それでは動燃はどうかと聞いてみたら、動燃は開発する原子炉の型がきまっております、私が考えているような革新的な原子炉の研究はしないということであった。企業はもっと融通がきかないようであった。結局、指導教授のお勧めに従いアメリカに留学することにした。

アメリカでの博士論文で何を研究するかについてアメリカでの指導教授と相談したとき、CANDLE 燃焼の話もしていた。これはずっと後になり CANDLE 燃焼の話はこの指導教授としたとき、懐かしそうにその時の話をされたので、よくぞ覚えてくださっていたと感激したことを覚えている。私以上に良く覚えていて下さった。このときは結局軽水炉の最適炉内燃料管理をテーマにした。高速炉に関する関心が薄れていたこともあるが、CANDLE 燃焼は不可能である可能性が高いと予想していたこともこの選択がなされた理由である。

その後の紆余曲折

その後、アメリカのゼネラルアトミックス(GA)に勤めた。その当時、GA は高温ガス炉を大々的に開発していた。ようやく自分のやるべき革新型炉に辿りつけたという感じであったが、間もなくしてプロジェクトが打ち切られることになった。GA では大型炉の空間分布の安定性といったことに取り組み、自由な研究をやらせてもらっていたが、革新炉を提案するといったことからは、少し異なる場所で仕事をしている感じがし、大学で革新炉の研究をしてみたいという気持ちが高まっていた。そんな折、東工大にうまく拾っても

らえた。

助手の間は研究室の事情もあり、核融合炉ニュートロニクスの研究を行っていたが、助教授になると早速、革新炉の研究を始めることにした。いきなり高速炉を始めると相手にしてもらえないように思えたのと、GA で研究していたというだけで一目置かれているようだったので、高温ガス炉の研究から始めた。GA にいるとき燃料を軸方向に移動させると濃縮度を1種類にしても出力分布が最適化できることを提案したことがあった。これは既にドイツでペブルベッド炉として開発されていることを知り、そのままになっていたが、博士論文で使った計算方法がうまく使えることが判っていた。この仕事は日本での私の革新型炉研究立ち上げのための最初の研究となった。

いよいよ高速炉の研究をしようと考えたとき、電中研が4S炉という小型高速炉の研究を華々しく打ち上げた。GA で大型のHTGRに取り組んでいた者としては、小型炉というのはスケールデメリットが大きくとも実用化できるとは思えなかった。しかし彼らの説明には実用化できるという多くの可能性が示されており、興味を持たざるを得なかった。しかも小型長寿命炉の研究にはおあつらえむきにインドネシアから留学生がやってきた。日本で作りインドネシアに運んでそこで運転し、寿命がくれば新たに日本で作られた原子炉と交換し、古いものは日本に持って帰るという原子炉の研究の始まりである。

4S炉は反射体制御を用いて、燃焼領域を炉心の下から上へ移動させようとしていた。CANDLE 燃焼では反射体なしに同じことができるはずである。冷却材としてナトリウムの代わりに鉛か鉛ビスマスを用いれば、小型化ももっと楽になるはずだ。こう考えて、小型鉛ビスマス冷却高速炉でCANDLE 燃焼が可能かどうかやってみた。ことごとく失敗であった。原子炉を大きくすれば可能かもしれないとは思ったが、それでは全体のシナリオが崩れるということもあつたし、中心に天然ウランを配置し、周りから燃やしていけば10年以上楽に運転できることが判つたので、CANDLE 燃焼はあっさり諦め、その後はアウトイン燃焼の小型長寿命高速炉の研究を進めることにした。

ここで提案した鉛ビスマス冷却小型長寿命高速炉はその後、意外な展開を見せることになる。ソ連崩壊直後のモスクワ近郊で開催された小型炉会議に招聘さ

•z\wí›°p`hq\–zœ+ p–~•oMh
İµÚµ–kÕææçÜn – Íwf–t`l
oMh hjT`z`^Xjœt^•„,rw ú`
Ô^•h{\wq^px İµÚµ–k– ô Íw
C`xÁXz\wì:pé³žtx\w“æxÁTI
hq¥O{\`T`‡hhX t`•hf–UpVKU
“zfw™w£îs%oCZ€wST[pz pxPf
%o•›è²t`oM”{

\$"/% - & é® - %oR -

yf»Gpw İµÚµ–k– ô Íwf–(°`
X`h\–z\$œ–”µt~Ò° U•loVh{,
S`M;qswpzttµÖ«ÄçwxMô Ípz
\$"/% - & í›f–`o`O\qt`h{\`T`\
wì:p< \$"/% - & ÍwRqQt0`oGVsÆ†
UKIh{fwhŠz‡cxô ÍwfÒçÖ¿ÁÍ
s”<wwf–›`o`lh{ô9”µÍwfÒç
Ö¿ÁÍp7tO‡XMIoM”-%oOswpz\•
xO‡XMXwt>‡loM”{84è“wAL>Z
`oX•hwpz\•pæ›{Mo<`Mzv½t
!g^•”\qU–îtsloT`z \$"/% - & Ít
“Éœp<`lh{-%o–”Áp.Yb”æüx,,
œw~cTpKIh{f•p<MXmTwýhs»É
›žAq`hUzÁÁ\$"/% - & é®›îqpVhw
pK”{
y~ xā`t\$œæ›{MoG¶›^loælh
wpz™T`•loVh.œw¶\t ;lo`l
ozæ›‡qŠh{xüq`oxzæ xh8\$s
<wq¥Qhwpzpìzj –Z€›•loM”
w X U ° j V – U K ” q ¥ l o M h / V D M F B S
4DJFODF BOE & QNHQDÝÆ\$SjO¶¶q
wv½tdØ`h{ åw\qpK”{q\–U
èÑ£æ”xsTsT°0`ôaoX•sM{âC\$
sÃ”»›í`A{^•zf•›æ t{V œpM
”OjtZ[x åtslo`‡loMh {f
w™ `œi Mq^wC`U¶[v½•wC`
“œtslo`‡lh{\wC`w°0tmMoz
p té`hq\–zœÁë”Á~Áâ”UÁh
‘Osæ £›C`oM”\q›-QoX•h\
wæ x / V D M F B S 4 D J F O D F B O E & O H J O F F S J O H w € ß
YtCQ`•h{\wæ \fzfw™z5SBWF MMJOH

8BWF 3FBDUPS w<qqs”æ pK”{
yfw™`y`X`ozÔŠwj – w³ÇžU
B‡”)§qUK“zf\pC`b”“OtAe^•
h{fwìh‡h‡/VDMFBS /FXTw{°]p_mZ
h®5IF QSPDFTT EFNPOtUSBUFE XFMMU
PG TDJFœUJ¶PWFSZSTUOTWOFH¶QMF DBM
ZPVS JEFB DSB[Z BOE TBZ ZPV`E CF B
*O UIF TFDPOKJTWUHF|FWJEFODF NPV
QFPQMF TBZ JU KVTU NJHIU CF DPSSF
IBWF FOPVHI FWJESODFZB¶|BSZ F BU UIF
UIJSE TUXBRO|QFPQMF TBZ UIF JEFB JT
UIBU PG DPVSTBQJZJTEJPSW¶|PVM E IBV
UIBU M O U K I h w p z T • h t z
\$"/% - & Íx rwpÁ”`tK”T vo`h{
<j–œ¶low UÑ•”µÄµÄ”`iqTQ`•
h{f•T`Ts“&jzfwì MoMhiMhM
th‡h‡qlhwpz%oaíð›`o`h{•x“
Ñ•”µÄµÄ”`iqTQ`•hwpz–`UIT
“`h{İç~® Àw\qUKIhwpz °S
Mo^`žAUK“fOpK”{&W JEFQDÆXz
İç~® Àw¿–t`”qMOWU>ts”wi
Uz.ŠİÁµÄ”`ph“tRoM”>Ub”{`
`z±”ÁµÄ”`tx‡i‡i“ `iq¥loM
”{
yfw™zf»Gpx HD\$0&Óé–âÜ®H,,
wË \$C2›§Q”µý\$J – ç\$0&µ*/&4U
>R^•z\$"/% - & Í xèÄÄ”Úw{qmqsl
h{‡h\wÓé–âÜU4f`h™p<z\$0&›
!Z`Mipý\$J –Z€•î»”pZEU` ^
•bç

İç~® ÀJÔ

yH s \$0&µ*/&4 M³İÜ`çÜ`*/&µ4 ›
5€< › 5€< › 5€< › 5€< › 5€< › 5

