

## 〈第 37 回炉物理夏期セミナー報告〉

### (2)原子炉シミュレーションゲームの開発

東北大学大学院工学研究科 量子エネルギー工学専攻

遠藤 秀樹<sup>[1]</sup>

#### 背景

現在、日本では国内電力の約三割を原子力発電によってまかなっている。この原子力発電は、石油・石炭などの化石燃料による発電に比べ、高い経済性を有する点、発電時に二酸化炭素を排出しない点からその有用性はゆるがしがたく、今後も着実な利用を図っていく必要がある。しかしながら、原子力発電は核分裂物質を利用するがゆえに、臨界事故への不安感や核兵器への恐れなどから、唯一の被爆国である日本国民には受け入れがたいものとなっている。また、我々の日常生活に欠かすことのできない電力についてあまり興味をもたれていないことも大きな問題である。

そこで、原子力発電をより身近に感じてもらうため、原子力発電所の運転を体験することができる原子炉シミュレーションゲームの開発を行った。この原子炉シミュレーションゲームは東北大学オープンキャンパスで公開し、より多くの人に原子力発電に興味を持ってもらうことを目的としている。

#### 開発目的

本プログラムの開発目的としては背景でも述べたように、東北大学オープンキャンパスで公開し、より多くの人に原子力発電に興味を持ってもらうことである。本プログラムは原子炉の運転を体験することができるものとした。そのため、本プログラムは原子炉内の物理現象の経時変化を計算する機能を有する必要がある。また、本プログラムはオープンキャンパスでの公開を目的としたものであるため、一般の方にわかりやすいものでなければいけない。したがって、本プログラムは実際の原子炉をそのままシミュレーションするのではなく、必要な部分だけをデフォルメしてわかりやすいプログラムを作成しなければならないと考えられる。さらに、原子炉の運転を体験してもらう際、運転にかかる時間が長くなり過ぎない必要がある。そのため、原子炉内の物理現象をある程度ゲームとして単純化する必要がある。加えて運転が難しすぎず簡単すぎず、ゲームとして面白い必要がある。

#### 原子炉シミュレーションゲーム Hide-yoshi

開発目的で述べたような条件を満たす原子炉シミュレーションゲーム Hide-yoshi<sup>[2]</sup>の開発を行った。開発環境としては Windows 上で LabVIEW<sup>[3]</sup>を用いて開発を行った。また、

---

[1] [hide@neutron.qse.tohoku.ac.jp](mailto:hide@neutron.qse.tohoku.ac.jp)

[2] [HIDEki and YOSHIkawa's nuclear reactor simulation game version 1.00](#)

[3] LabVIEW は信号の収録、測定値の解析、データの表示機能を標準装備した画期的なグラフィカル開発環境である。詳しくは参考文献[5]を参照。

基本的には次式に示すような一点炉動特性方程式を解くことで原子炉出力の経時変化を計算している。

$$\frac{dn(t)}{dt} = \frac{k(t)(1-\beta)-1}{l} + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i(t) \quad (1)$$

$$\frac{dC_i(t)}{dt} = \frac{k(t)}{\Lambda} \beta_i n(t) - \lambda_i C_i(t) \quad (i=1\sim 6) \quad (2)$$

ここで、

- $n(t)$  : 中性子密度[n/cm<sup>3</sup>]
- $C_i(t)$  : 遅発中性子先行核濃度[n/cm<sup>3</sup>]
- $k(t)$  : 増倍係数
- $l$  : 即発中性子寿命[sec]
- $\beta$  : 遅発中性子割合
- $\beta_i$  : 各群の遅発中性子割合
- $\lambda_i$  : 各群の遅発中性子崩壊定数[sec<sup>-1</sup>]

である。このとき、増倍係数  $k(t)$  は制御棒位置によって決まる。また、中性子密度  $n(t)$  は原子炉熱出力に比例するため、この一点炉動特性方程式を解き  $n(t)$  を求めることで原子炉出力の経時変化を得ることが可能となっている。また、他のパラメータに関しては原子炉の形状、および組成によって決まるものであり、これらのパラメータは Hide-yoshi の入力ファイルを作成することで変更することが可能となっている(インストール時には女川原子力発電所のパラメータの入力ファイルが用いられる)。

原子炉シミュレーションゲーム Hide-yoshi の操作パネルを図1に示す。操作パネルには、①制御棒位置・再循環ポンプ流量表示部、②原子炉状態グラフィカル表示部、③現在の運転パラメータ(時間、ペリオド、冷却水温度、原子炉熱出力)表示部、④運転パラメータグラフ表示部、⑤スクラム動作ボタン、⑥ゲームミッション表示部、⑦運転状況表示部が存在

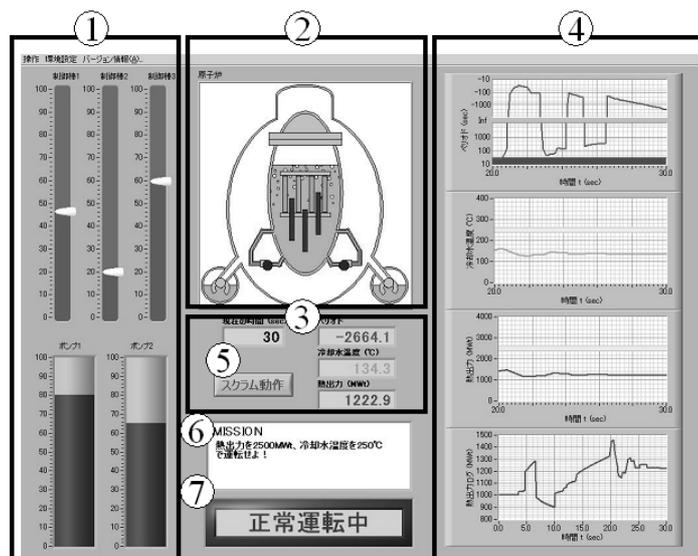


図1 Hide-yoshi 操作パネル

する。表示されているこれらのパラメータを見ながら運転を行うことになる。また、運転パラメータ表示部にはミッション表示部で示された目標値となる温度および出力に青い帯が表示されており、この帯の中に納まるように運転を行うことでゲームクリアとなる。

また、操作はテンキーを改良した専用コントローラまたはテンキーで行うことができる。専用コントローラを図 2 に示す。また、テンキーを用いる場合のボタン配置は、7、8、9 で制御棒挿入、4、5、6 で制御棒引き抜き、1、3 でポンプ流量増加、0、. でポンプ流量減少となる。

ゲームとしては、制御棒位置および再循環ポンプ流量を変えることによって目標としている冷却水温度、および原子炉熱出力まで運転してもらい、一定時間保持することでミッションクリアとなる。このとき、ペリオドが短すぎたり、温度が高すぎたり、出力が高すぎる場合には警告をされることがあり、その危険度によって警告、制御棒自動挿入、スクラムと安全装置が自動的に働く。また、ゲームクリア時には、運転結果がプリンターから出力される。プリントされる運転結果を図 3 に示す。運転結果には①最終的な原子炉の状態のグラフィック、②運転時間、③警告回数、④運転結果のグラフ(増倍係数、制御棒位置、再循環ポンプ流量、熱出力、冷却水温度)、⑤評価(運転結果によって 5 段階評価される)が出力されている。

また、本プログラム、原子炉シミュレーションゲーム Hide-yoshi は中性子デバイス研究室の web site(<http://www.neutron.qse.tohoku.ac.jp/>)からダウンロード可能である。



図 2 Hide-yoshi 専用コントローラ

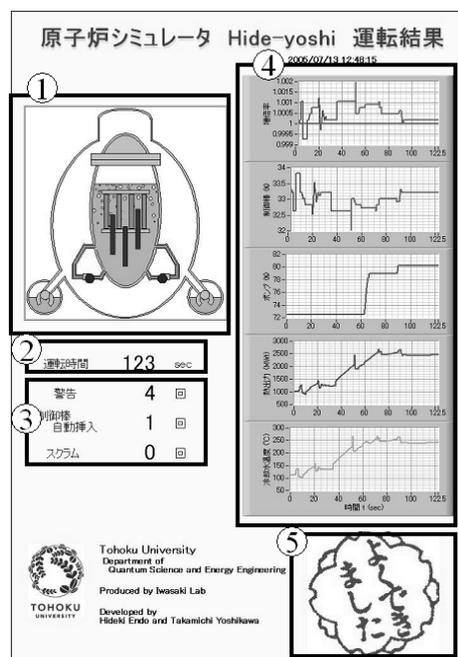


図 3 Hide-yoshi 運転結果プリント

Tohoku University  
Department of  
Quantum Science and Energy Engineering  
Produced by Iwasaki Lab  
Developed by  
Hideki Endo and Takamichi Yoshikawa

## オープンキャンパス

本プログラム、原子炉シミュレーションゲーム Hide-yoshi を 2005 年 7 月 28 日、29 日に行われた東北大学オープンキャンパスで公開した。その様子を図 4 から図 7 に示す。オープンキャンパスでは、まずポスターで原子力発電の現状や仕組みなどを説明し、その後実際に Hide-yoshi を運転してもらった。来場者は主に高校生であったが、それほど抵抗なく運転できていたように思う。また、図 7 に示すように、ゲームクリア時間を競ってもらいランキングとして張り出すことによってよりゲームとして面白くなったのではないかと思う。

来場者は 100 人を越え、多くの人に原子力発電、ならびに電力について興味をもっていただけたのではないかと思われる。来年度以降もこの Hide-yoshi にさらなる改良を加え、毎年公開していく予定である。



図 4 オープンキャンパス(1)



図 5 オープンキャンパス(2)



図 6 オープンキャンパス(3)

A black and white photograph of a hand-drawn ranking board titled "A RANKING". The board is divided into three columns: "エキスパート" (Expert), "上級" (Advanced), and "中級" (Intermediate). Each column lists names and their completion times in seconds. The "エキスパート" column has 5 entries, "上級" has 5 entries, and "中級" has 5 entries. The "根口商店" (Nekouchi Shoten) is listed as the fastest with 54 seconds.

エキスパート	上級	中級
1 シュンスケ B 223 sec	1 安高生 B 196 sec	1 ユウスケ B 93 sec
2 M.T B 227 sec	2 7+7 B 201 sec	2 Big-Sun-field Start 97 sec B
3 コーセイ B 227 sec	3 Sukigawa B 209 sec	3 H. AMATA B 101 sec
4 三本管兄弟 B 228 sec	4 瑞希 B 212 sec	4 S 102 sec B
5 マサト B 244 sec	5 Shiba B 213 sec	5 J.Y B 108 sec

図 7 オープンキャンパス(4)

## まとめと今後の課題

今回、原子力発電に興味を持ってもらうことを目的として、原子炉シミュレーションゲーム **Hide-yoshi** の開発を行った。また、本プログラムを東北大学オープンキャンパスで公開し、原子炉の運転を体験してもらうことによって多くの人に原子力発電に触れてもらった。これによって実際に体験した方、またこれらの人から話と聞いた方々が原子力発電、については電力に興味を持ってもらったのではないかと思う。さらに、本プログラムはこれから毎年オープンキャンパスで公開していく予定であり、毎年バージョンアップしていく予定である。

今後の課題としては、**Hide-yoshi** ではかなり大きな近似を用いているため、ゲーム性を失わない程度の、原子炉運転のより正確なシミュレーションを行う必要がある。また、よりわかりやすい操作パネルへの改良、ゲーム的演出効果の追加、および実際の原子炉運転に用いられているコントローラに似た専用コントローラの作成などが挙げられる。

今後、本プログラムによってより多くの人々が原子力発電に興味を持ち、さらには原子力発電の必要性を多くの人に知ってもらうことによって、この原子力の分野がよりいっそう進歩していくことを期待する。

## 参考文献

- [1] 平川直弘,岩崎智彦,“原子炉物理入門”,東北大学出版会,(2003)
- [2] ジェームス J ドウデルスタット,ルイス J ハミルトン著,成田正邦,藤田文行共訳,“原子炉の理論と解析(上)”,現代工学社,(1980)
- [3] 遠藤秀樹,“加速器運転機能を有する加速器駆動未臨界炉シミュレータの開発”,東北大学工学部学士学位論文,(2004)
- [4] 遠藤秀樹,“動特性簡易解析コード **Hide-kine2.0** マニュアル”,東北大学大学院工学研究科,(2005)
- [5] LabVIEW website : <http://www.ni.com/labview/ja/>