

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
遠藤 秀樹

平成17年 5月

目次

第 1 章 はじめに	1
第 2 章 Hide-kine2.0 の概要	3
2-1 動作環境	3
2-2 動特性計算	3
2-3 ユーザインタフェース	5
2-4 ディレクトリ構造	5
第 3 章 制御パネルの説明	7
3-1 メインパネル	7
3-2 データ入力パネル	8
3-3 グラフ表示パネル	10
3-4 環境設定パネル	11
第 4 章 基本的な操作方法	16
4-1 計算方法	16
4-2 計算結果ファイル入出力	20
4-3 入力データファイル入力	24
4-4 データ解析	28
4-5 環境設定	32
第 5 章 Hide-kine 入出力ファイル	36
5-1 $\lambda_i \alpha_i$ 入力ファイル	36
5-2 計算結果入出力バイナリファイル	36
5-3 テキスト入出力ファイル	38
5-4 環境ファイル	40
第 6 章 VI 構造	41
第 7 章 バージョン情報	44
連絡先	44

第 1 章 はじめに

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。このため、原子炉のさらなる高度化・効率化・安全性向上が必要不可欠となっている。

原子炉を設計するには、核特性、安全性、経済性などにに基づき、数多くのパラメータを決定する必要がある。これらのパラメータは、中性子工学コードと呼ばれる計算機プログラムで計算を行うことで決定される。中性子工学コードには核特性計算用、安全性計算用、燃焼計算用などの様々な種類が存在し、これまで多数の中性子工学コードが開発されてきた。現在日本で使用されている一般的な中性子工学コードを表 1.1 に示す。

このように、数多くの中性子工学コードが存在しているが、これらのコードの内多くはある特定の現象について解析を行うための、研究の過程として開発されたものがほとんどである。したがって、これらのコードを理解し、計算を実行することは原子力に精通しているものであっても容易なことではない。また、ある程度ユーザが使用しやすいように考慮されたコードであっても、これらのコードはテキストベースでの入力を対象としたものであるため理解しにくいものとなっている。また、計算結果の出力についても同様であり、難解であると同時に解析を行うためには出力ファイルから所望のデータを抽出しなければならない。このような理由より、中性子工学コードの使用には多大な時間を浪費することになってしまう。

そこで「動特性簡易解析コード Hide-kine2.0⁽¹⁾」は、これまでのコードにはなかったグラフィカルユーザインタフェース機能を付加することによって、入力から計算、出力の解析までをわかりやすく、短い作業時間で扱うことができるコードとして開発された。Hide-kine2.0 は一点炉動特性方程式を計算することによって原子炉内の動特性を解析するコードである。この Hide-kine2.0 は非常に簡単な計算しか行うことができないが、これを第一歩として、これまでのテキストベースのコードからグラフィカルベースのコードへ発展するきっかけとなることを期待する。

⁽¹⁾ HIDEki's reactor KINETics simple analysis code version 2.0

表 1.1 現在日本で使用されている一般的な中性子工学コード

Core Type	Assembly Analysis Code		Core Analysis Code	
	Code Name	Developer	Code Name	Developer
BWR	TGBLA	GNF-J	LOGOS	GNF-J
	LANCER	GNF-J	PANACEA	GNF-J
	NEUPHYS	NFI	AETNA	GNF-J
	CASMO	SSP	COS3D	NFI
			SIMULATE	SSP
PWR	PHOENIX-P	MHI	ANC	MHI
	CASMO	SSP	SIMULATE	SSP
	Improved NULIF	NFI	SHARP	NFI
FBR	SLAROM	JAERI	CITATION	ORNL
General	VMONT-Monte Carlo Code (HITACHI) MVP-Monte Carlo Code (JAERI) SRAC (JAERI)			

第 2 章 Hide-kine2.0 の概要

2-1 動作環境

動特性簡易解析コード Hide-kine2.0 は WindowsXP 上で開発が行われた。開発言語は National Instruments 社製の LabVIEW7.1 を用いている。Hide-kine2.0 は Windows2000/XP 上での動作が確認されており、Hide-kine2.0 を実行するためには別途 LabVIEW ランタイムエンジンをインストールする必要がある。Hide-kine2.0 の推奨動作環境を表 2.1 に示す。本コードではレジストリは使用していないため、Hide-kine.exe を実行するだけでコードが動作し、アンインストールについても Hide-kine.exe を削除するだけでよい。

表 2.1 Hide-kine2.0 推奨動作環境

	最低動作環境	推奨動作環境
OS	Windows2000/XP	
CPU	Pentium 1GHz 以上	Pentium4 2.4GHz 以上
メモリ	256MB 以上	512MB 以上
ハードディスク	50MB 以上の空き容量	
周辺機器	マウス/キーボード	
その他	LabVIEW ランタイムエンジンインストール済み	

2-2 動特性計算

2-2-1 一点炉動特性方程式

Hide-kine2.0 は一点炉動特性方程式を計算することで原子炉内の動特性解析を行うコードである。一点炉動特性方程式とは簡易な動特性計算手法として広く用いられているものであり、Hide-kine2.0 ではこの方程式に外部中性子源の項を加えた次式を用いる。

$$\frac{dn(t)}{dt} = \frac{k(t)(1-\beta) - 1}{l} n(t) + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i(t) + s(t) \quad (2-1)$$

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

ここで

- $n(t)$: 中性子密度 (n/cm^3)
 $C_i(t)$: 遅発中性子先行核濃度 (n/cm^3)
 $k(t)$: 実行増倍率
 $s(t)$: 外部中性子源強度 (n/sec-cm^3)
 l : 即発中性子寿命 (sec)
 β : 遅発中性子割合
 β_i : 各群の遅発中性子割合
 λ_i : 各群の遅発中性子崩壊定数 (sec^{-1})

また、次式のような形で表されることもある。

$$\frac{dn(t)}{dt} = \frac{\rho(t) - \beta}{\Lambda} n(t) + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i(t) + s(t) \quad (2-3)$$

$$\frac{dC_i(t)}{dt} = \frac{\beta_i}{\Lambda} n(t) - \lambda_i C_i(t) \quad (i = 1 \sim 6) \quad (2-4)$$

ここで

- $\rho(t)$: 反応度 (pcm)
 Λ : 即発中性子世代時間 (sec)

ρ は反応度と呼ばれ、基本的に実行増倍率が1からどれだけずれているかを表す量である。
 ρ および Λ は次式で定義される。

$$\rho = \frac{k - 1}{k} \quad (2-5)$$

$$\Lambda = \frac{l}{k} \quad (2-6)$$

また、反応度 ρ についてはドル (\$) という単位が使われることがあり、反応度がちょうど β となる反応度を 1\$ として定義し、変換式は次式のようなになる。

$$\rho(\$) = \frac{\rho(\text{pcm})}{\beta} \quad (2-7)$$

また、 β_i の代わりに $\alpha = \beta_i/\beta$ という相対収率が用いられることもある。

2-2-2 計算手法

Hide-kin2.0 では計算精度、計算時間を考慮し、改良型オイラー法を用いて一点炉動特性方程式の数値解析を行う。改良型オイラー法とは二段で二次の微分方程式の解法である。計算する微分方程式が式(2-8)で表されるとき、アルゴリズムは式(2-9)のようなになる。

$$\frac{dy(x)}{dx} = f(x, y) \quad (2-8)$$

$$y_{i+1} = y_i + \frac{dx}{2}(a_1 + a_2) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2-9)$$

ここで、 dx は刻み幅 (タイムステップとも呼ばれる) であり、 a_1 および a_2 は次式で定義される。

$$\begin{aligned} a_1 &= f(x_i, y_i) \\ a_2 &= f(x_i + dx, y_i + dx \cdot a_1) \end{aligned} \quad (2-10)$$

また、一点炉動特性方程式を解くにあたり $n(t)$ および $C_i(t)$ の7つの初期値を決める必要がある。初期条件として時間0まで原子炉は定常状態で運転されていた ($dn(0)/dt = 0$ 、 $dC_i(0)/dt = 0$) と仮定し、 $n(0)$ を入力値として次式により $C_i(0)$ を決定する。

$$C_i(0) = \frac{\beta_i n(0)}{\Lambda \lambda_i} \quad (2-11)$$

2-3 ユーザインタフェース

Hide-kine2.0において入力、出力および解析を行う場合、様々なユーザインタフェース機能が用意されている。まず、制御棒の操作、外部中性子源の変化などによって変わる値である $k(t)$ 、 $s(t)$ を関数により入力を行うことができる。ここで、関数入力に使用できる演算子、および関数を表 2.2 に示す。また、原子炉を構成する各種によって決定される値である α_i および λ_i は、外部ファイルとして読み込むことで入力を行うことができる。計算結果の解析についても、計算結果の比較機能、規格化機能を使うことで容易に解析を行うことができる。さらに、環境ファイルを設定することで Hide-kine2.0 のインタフェース機能をアレンジすることが可能となっている。

2-4 ディレクトリ構造

Hide-kine2.0 で標準に使用されるディレクトリ構造としては、Hide-kine2.0 の本体である「Hide-kine.exe」、環境ファイル「env.txt」、 $\lambda_i \alpha_i$ ファイルが格納されているディレクトリ「 $\lambda_i \alpha_i$ データ」、入力および出力ファイルを格納するディレクトリ「入出力ファイル」が同一のディレクトリ内に存在していなければならない。

これらのファイルの内、「 $\lambda_i \alpha_i$ データ」および「入出力ファイル」は名前の変更、他のディレクトリの指定が環境ファイルによって可能である。しかしながら、環境ファイル「env.txt」は必ず「Hide-kine.exe」と同一ディレクトリ内にななければならない。存在しない場合には、自動的に「env.txt」が作成される。

表 2.2 使用可能な演算子および関数

演算子	説明	演算子	説明
+	加算	-	減算
*	乗算	/	除算
^	指数		
関数	説明	関数	説明
abs(x)	絶対値を返す	acos(x)	逆余弦をラジアンで計算
acosh(x)	双曲逆余弦を度で計算	asin(x)	逆正弦をラジアンで計算
asinh(x)	双曲逆正弦を度で計算	atan(x)	逆正接をラジアンで計算
atanh(x)	双曲逆正接を度で計算	ceil(x)	次に大きい整数に切り上げ
cos(x)	余弦をラジアンで計算	cosh(x)	双曲余弦を度で計算
cot(x)	余接をラジアンで計算	csc(x)	余割をラジアンで計算
exp(x)	e の x 乗を計算	expm1(x)	e の x 乗から 1 引いた値を計算
floor(x)	x を次に小さい整数に切り上げ	getexp(x)	x の指数
getman(x)	x の仮数	int(x)	x を最も近い整数に丸める
ln(x)	自然対数を計算	lnp1(x)	(x+1) の自然対数を計算
log(x)	10 を底として対数を計算	log2(x)	2 を底として対数を計算
rand()	0 ~ 1 間の浮動小数点を生成	sec(x)	正割をラジアンで計算
sign(x)	>0 で 1, <0 で -1, =0 で 0 を返す	sin(x)	正弦をラジアンで計算
sinc(x)	sin(x)/x をラジアンで計算	sinh(x)	双曲正弦を度で計算
sqrt(x)	平方根を計算	tan(x)	正接をラジアンで計算
tanh(x)	双曲正接を度で計算		

第 3 章 制御パネルの説明

3-1 メインパネル

メインパネルを図 3.1 に示す。メインパネルは動特性の計算から解析までを行う、Hide-kine2.0 においてメインとなる制御パネルである。データ入力パネルで作成された入力データを元に動特性計算を行い、グラフ出力、比較解析、ファイル出力などの機能を使用することができるパネルである。また、環境設定によってメインパネルのインタフェース機能をアレンジすることができる。各ボタン・グラフ・入力・出力の機能を以下で説明する。ここで、以下で説明される番号は図 3.1 中の番号と対応している。

- ① データ入力パネル表示ボタン。データ入力パネルが開き、計算条件や動特性パラメータ、反応度関数、外部中性子関数を入力する。
- ② 計算開始ボタン。動特性計算を開始する。計算中はファイル出力を行うことができない。また、計算中にはこのボタンは計算中止ボタンに変わる。
- ③ 初期値 $n(0)$ 入力。中性子密度の初期値を入力する。
- ④ 動特性パラメータ表示。データ入力パネルで作成した入力データから動特性パラメータの表示を行う。また、⑩比較データファイル入力で入力された外部ファイルから読み取られた動特性パラメータも表示する。
- ⑤ 反応度表示グラフ。グラフ上部のタブボタンで表示するグラフを実行増倍率 k_{eff} 、反応度 $\rho(\text{pcm})$ 、反応度 $\rho(\$)$ から選択することができる。
- ⑥ 外部中性子源表示グラフ。入力された外部中性子源の経時変化のグラフを表示する。
- ⑦ 計算結果表示グラフ。グラフ上部のタブボタンで表示するグラフを中性子密度 n 、遅発中性子先行核密度 C_i から選択することができる。
- ⑧ バイナリファイル出力ボタン。計算結果および入力情報をバイナリ形式「*.hid⁽¹⁾」で出力する。この出力ファイルは⑨バイナリファイル入力、⑩比較データファイル入力、およびデータ入力パネルで使用可能である。

⁽¹⁾ ADS シミュレータ Hide-kineX のバイナリ出力ファイルも「*.hid」であるが、Hide-kine2.0 との互換性はない。

- ⑨ バイナリファイル入力ボタン。⑧バイナリ出力で作成した「*.hid」ファイルを読み込み、計算結果および入力情報の入力を行う。
- ⑩ テキストファイル出力ボタンおよび出力項目選択リングボックス。リングボックスで選択された項目をテキストファイルに出力する。
- ⑪ 比較データファイル入力ボタンおよび入力形式選択リングボックス。バイナリファイルおよびテキストファイルを読み込み、比較データとする。テキスト入出力ファイルの作成方法は「5-3 テキスト入出力ファイル」を参照。
- ⑫ 比較データ表示ボタン。⑪で入力された比較データを表示するかどうか選択するボタン。
- ⑬ 規格化ボタンおよび規格化時間入力。⑪で入力された比較データを規格化時間で計算結果と規格化⁽²⁾する。
- ⑭ グラフ表示パネル表示ボタン。現在表示されている計算結果および比較データをグラフ表示パネルで解析することができる。
- ⑮ 環境設定パネル表示ボタン。環境設定パネルが開き、Hide-kine2.0の環境をカスタマイズすることができる。
- ⑯ プログラム終了ボタン。Hide-kine2.0を終了し、メインパネルを閉じる。

3-2 データ入力パネル

データ入力パネルを図3.2に示す。データ入力パネルでは、反応度関数の入力、外部中性子源関数の入力、動特性パラメータ、および計算情報などの計算に必要なもろもろのデータの入力を行うパネルである。各ボタン・グラフ・入力・出力の機能を以下で説明する。ここで、以下で説明される番号は図3.2中の番号と対応している。

- ① 反応度表示グラフ。②入力単位の単位で、同じ指標の⑥変化終了時間までの⑦入力関数を③の入力形式で計算された反応度の経時変化をグラフ表示する。グラフ上部のタブボタンをで表示するグラフを実行増倍率 k_{eff} 、反応度 $\rho(\text{pcm})$ 、反応度 $\rho(\$)$ から選択することができる。
- ② 反応度入力単位選択リングボックス。⑥変化終了時間、⑦入力関数で入力する関数の入力単位を実行増倍率 k_{eff} 、反応度 $\rho(\text{pcm})$ 、反応度 $\rho(\$)$ から選択する。

⁽²⁾ ここで言う規格化とは、規格化時間で比較データと計算結果の値を一致させることである。

- ③ 関数入力形式選択リングボックス（反応度）。⑥変化終了時間、⑦入力関数で入力する関数の入力形式を絶対値入力、相対値入力、内挿入力から選択する。

絶対値入力 原点を基準として入力

相対値入力 ひとつ前の関数の変化終了時間、および最終値を基準として入力

内挿入力 ひとつ前の入力値と現在の入力値を内挿して入力⁽³⁾

- ④ バイナリファイル入力ボタン（反応度）。メインパネルで作成できる「*.hid」バイナリファイルを読み込み、反応度関数の入力を行う。
- ⑤ テキストファイル入力ボタン（反応度）。テキスト形式で作成された入力ファイルを読み込み、反応度関数の入力を行う。テキスト入出力ファイルの作成方法については「5-3 テキスト入出力ファイル」を参照。
- ⑥ 反応度関数変化終了時間入力。⑦入力関数と同じ指標における反応度関数が変化を終了する時間を入力する。また、この値を0とした場合入力を削除したことになる。
- ⑦ 反応度関数入力。反応度の経時変化を関数で入力する。使用可能な関数については表 2.2 を参照。
- ⑧ 外部中性子源表示グラフ。同じ指標の⑬変化終了時間までの⑭入力関数を⑨の入力形式で計算された外部中性子源の経時変化を表示する。
- ⑨ 関数入力形式選択リングボックス（外部中性子源）。⑬変化終了時間、⑭入力関数で入力する関数の入力形式を絶対値入力、相対値入力、内挿入力から選択する。各入力方法の説明は③を参照。
- ⑩ 一定出力外部中性子源強度入力ボタン。計算結果 $n(t)$ が一定⁽⁴⁾ となるような外部中性子源強度を計算し、その値を⑭入力関数に入力する。
- ⑪ バイナリファイル入力ボタン（外部中性子源）。メインパネルで作成できる「*.hid」バイナリファイルを読み込み、外部中性子源関数の入力を行う。
- ⑫ テキストファイル入力ボタン（外部中性子源）。テキスト形式で作成された入力ファイルを読み込み、外部中性子源関数の入力を行う。テキスト入出力ファイルの作成方法については「5-3 テキスト入出力ファイル」を参照。
- ⑬ 外部中性子源関数変化終了時間入力。⑭入力関数と同じ指標における外部中性子源関数が変化を終了する時間を入力する。また、この値を0とした場合入力を削除したことになる。

⁽³⁾ 最初の値は原点と内挿を行う。

⁽⁴⁾ ここで一定値とは $n(t)=1$ となるような外部中性子源である。

- ⑭ 外部中性子源関数入力。外部中性子源の経時変化を関数で入力する。使用可能な関数については表 2.2 を参照。
- ⑮ 計算時間入力。計算を行う時間を入力する。
- ⑯ グラフ出力時間間隔選択リングボックス。計算結果をグラフ表示する時間間隔を選択する。ここで、この値は計算時間間隔（タイムステップ）ではないことに注意。
- ⑰ 遅発中性子寿命入力。遅発中性子寿命 l を入力する。
- ⑱ 実効遅発中性子割合入力。実行遅発中性子割合 β_{eff} を入力する。
- ⑲ $\lambda_i\alpha_i$ データ選択リングボックス。選択した $\lambda_i\alpha_i$ ファイルを読み込み、 λ_i および α_i を ⑳ に表示する。 $\lambda_i\alpha_i$ 入力ファイルの作成方法は「5-1 $\lambda_i\alpha_i$ 入力ファイル」を参照。ここで、このリングボックスに表示される項目は、環境設定パネルで設定した「 $\lambda_i\alpha_i$ データファイルディレクトリパス⁽⁵⁾」下に存在するファイル名である。
- ㉑ 各群の遅発中性子崩壊定数および遅発中性子割合表示。⑲で選択した $\lambda_i\alpha_i$ ファイルから読み込んだ λ_i および α_i を表示する。
- ㉒ 入力終了ボタン。データ入力を終了し、メインパネルに戻る。

3-3 グラフ表示パネル

グラフ表示パネルを図 3.3 に示す。グラフ表示パネルではメインパネルで計算された結果を、大きいグラフで解析することができるパネルである。グラフ上で右クリックし、「データをコピー」を選択することで計算結果のグラフの画像をコピーすることが可能である。各ボタン・グラフ・入力・出力の機能を以下で説明する。ここで、以下で説明される番号は図 3.3 中の番号と対応している。

- ① データ表示グラフ。入力値である反応度、外部中性子源、動特性パラメータ、および計算結果である中性子密度、遅発中性子先行核密度の経時変化を表示する。②比較データ表示ボタンで比較データを表示することができる。また、グラフ上部のタブボタンで表示するグラフを実行増倍率 k_{eff} 、反応度 $\rho(\text{pcm})$ 、反応度 $\rho(\text{\$})$ 、外部中性子源 s 、中性子密度 n 、遅発中性子先行核密度 C_i 、動特性パラメータから選択することができる。さらに、グラフ上で右クリックし、「データをコピー」を選択することで計算結果のグラフの画像をコピーすることが可能である。
- ② 比較データ表示ボタン。比較データを表示するかどうか選択するボタン。

⁽⁵⁾ デフォルトでは Hide-kine.exe と同ディレクトリ内の「 $\lambda_i\alpha_i$ データ」に設定されている。

- ③ 規格化ボタンおよび規格化時間入力。比較データを規格化時間で計算結果と一致するように規格化する。
- ④ グラフ表示終了ボタン。グラフ表示パネルでの作業を終了し、メインパネルに戻る。

3-4 環境設定パネル

環境設定パネルを図 3.4 に示す。環境設定パネルでは Hide-kine の様々な設定をカスタマイズすることができる。環境ファイルについては「5-4 環境ファイル」を参照。各ボタン・グラフ・入力・出力の機能を以下で説明する。ここで、以下で説明される番号は図 3.4 中の番号と対応している。

- ① グラフカラー設定ボックス。メインパネルなどで表示されるグラフのプロットカラーを変更することができる。デフォルトのチェックをはずし、カラーボックスをクリックすることでプロットカラーの選択を行える。
- ② 計算時間間隔入力。一点炉動特性方程式を差分法で解く場合の計算時間間隔を入力する。デフォルトでは「2.000E-5」に設定されている。この計算時間間隔はあまり大きくしすぎると計算が収束しなくなるので注意。また、この計算時間間隔はグラフ出力時間間隔の公約数になっていることが望ましい。
- ③ $\lambda_i\alpha_i$ データファイルディレクトリパス入力。 $\lambda_i\alpha_i$ ファイルを読み込む場合に参照されるディレクトリを設定する。ここで設定されたディレクトリパス内のファイルが、データ入力パネルの $\lambda_i\alpha_i$ データ選択リングボックスで表示される項目となる。デフォルトでは Hide-kine.exe と同ディレクトリ内の「 $\lambda_i\alpha_i$ データ」に設定されている。
- ④ 入出力ファイルディレクトリパス入力。ファイル入出力を行う場合に最初に参照されるディレクトリを設定する。デフォルトでは Hide-kine.exe と同ディレクトリ内の「入出力ファイル」である。
- ⑤ 設定キャンセルボタン。環境設定をキャンセルし、メインパネルに戻る。
- ⑥ 設定変更ボタン。環境設定を変更し、メインパネルに戻る。

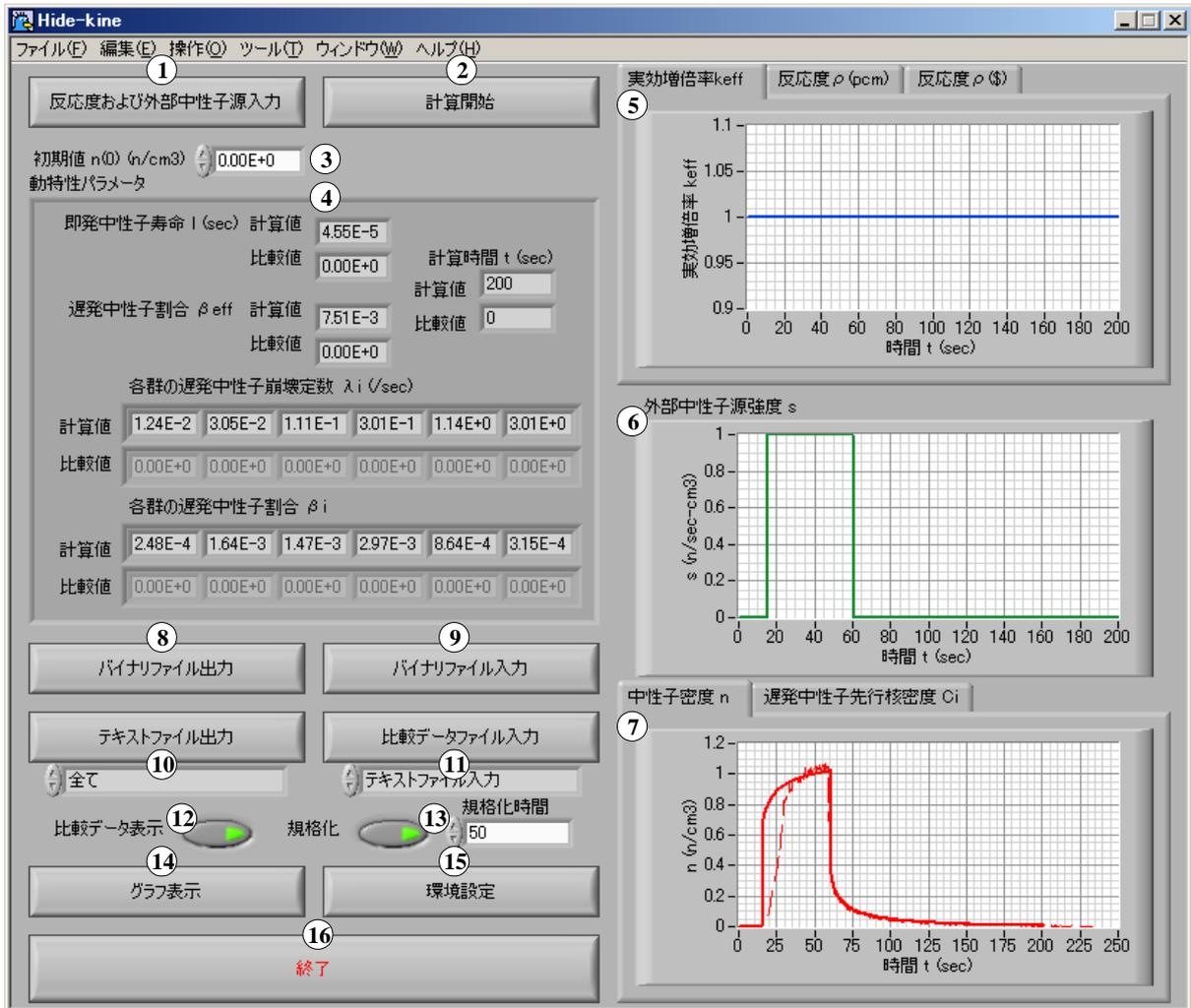


図 3.1 メインパネル

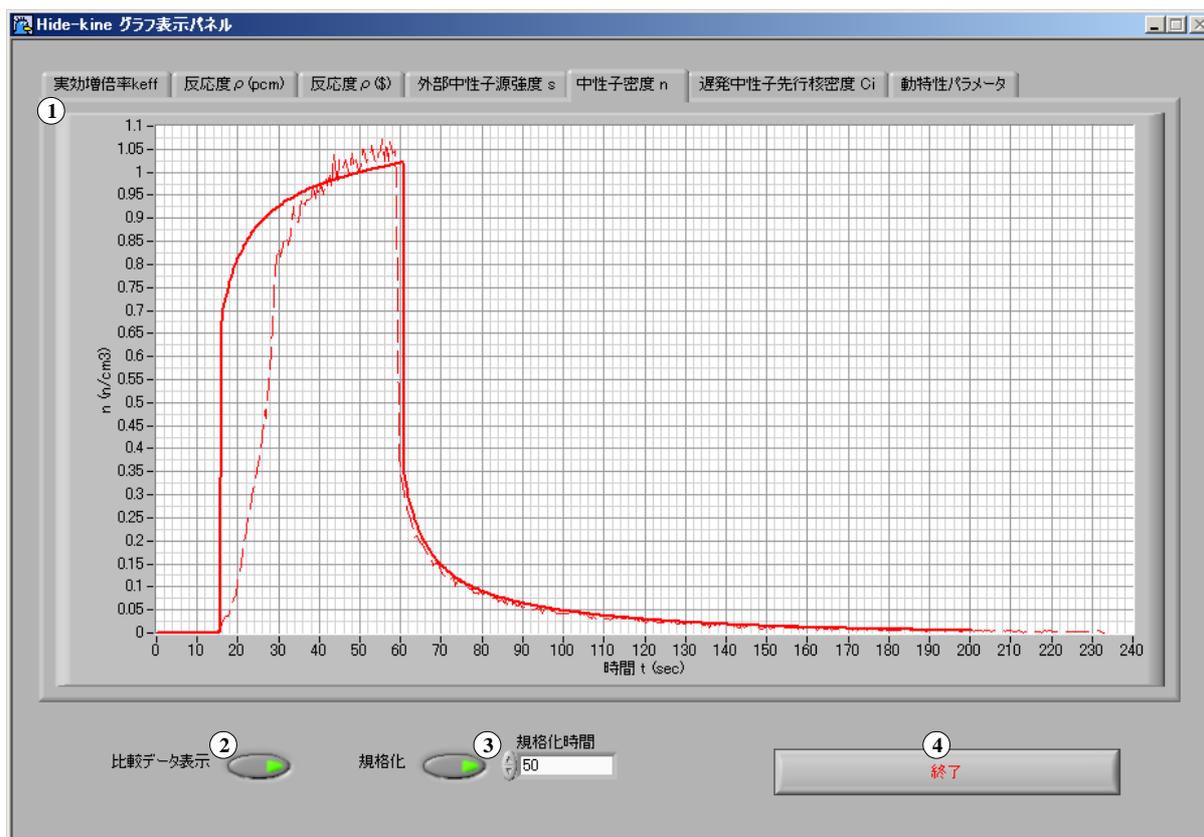


図 3.3 グラフ表示パネル



図 3.4 環境設定パネル

第 4 章 基本的な操作方法

4-1 計算方法

Hide-kine2.0 で動特性を計算する方法を以下で説明する。ここで、「第 3 章 制御パネルの説明」を参照しながら入力することを薦める。また、Hide-kine2.0 ではこの「4-1 計算方法」を基礎として、「4-2 計算結果ファイル入出力」、「4-3 入力データファイル入力」、「4-4 データ解析」、「4-5 環境設定」という機能を用いることができる。これらの機能は「4-1 計算方法」に付随したものであるため、以下で示される計算方法を参照しながら他の機能を利用することを薦める⁽¹⁾。

まず、Hide-kine2.0 を起動する。メインパネルが開いたら、「反応度および外部中性子源入力」のボタンを押し、データ入力パネルを開く。(図 4.1)

ここで、「4-2-1 バイナリファイル入力」の機能を用いることで、ファイルに書き込まれている入力情報を読み込み、以下で示す(2)~(4)のデータ入力パネルで行う作業を省略することができる。また、ファイル入力を行った後に以下の作業を行うと、データ入力パネルに読み込まれた入力情報があらかじめ入力されている。

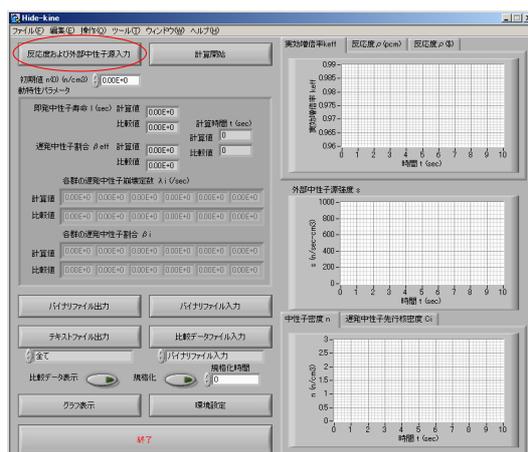


図 4.1 計算方法 [メインパネル](1)

(1) 「4-1 計算方法」中にどの操作中にどの機能を利用できるのかを示している。

データ入力パネルが開いたら、まず Hide-kine 制御パラメータである「計算時間 $t(\text{sec})$ 」、「出力時間間隔」の入力を行う。次に、動特性パラメータである「即発中性子寿命 $l(\text{sec})$ 」 「遅発中性子割合 β_{eff} 」を入力し、「 $\lambda_i \alpha_i$ データ」を選択する。 $\lambda_i \alpha_i$ 入力ファイルの作成方法は「5-1 $\lambda_i \alpha_i$ 入力ファイル」を参照。(図 4.2)

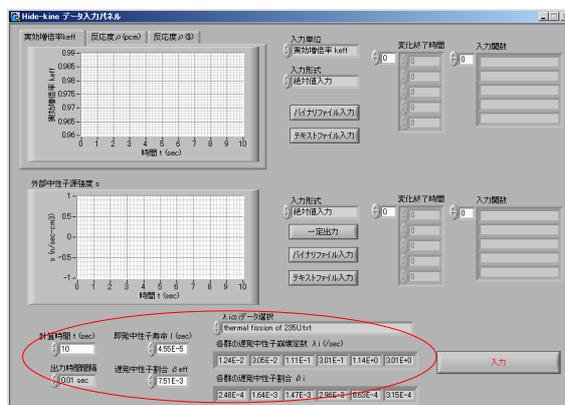


図 4.2 計算方法 [データ入力パネル](2)

次に反応度の入力を行う。まず入力単位を選択し、変化終了時間と入力関数を入力する。ここで、変化終了時間とそれに対応する入力関数は同じ指標になっていなければならない。また、変化終了時間と入力関数は指標が合っていれば入力する順番を気にする必要はない。その後、入力形式を選択し、反応度の入力完了する。入力した反応度は左側のグラフによって確認することができる。(図 4.3)

このとき、「4-3-1 バイナリファイル入力」および「4-3-2 テキストファイル入力」の機能を利用して反応度の入力を行うことができる。

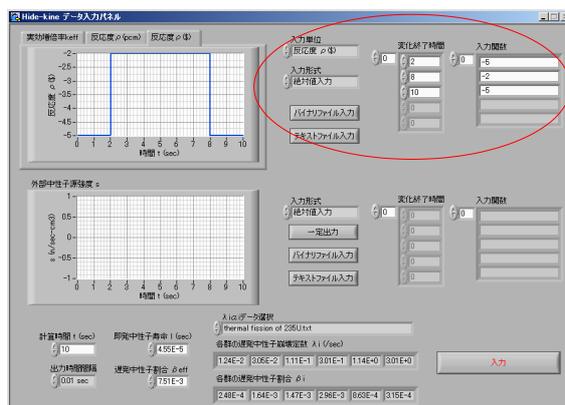


図 4.3 計算方法 [データ入力パネル](3)

反応度と同様に外部中性子源の入力を行う。まず、変化終了時間と入力関数を入力する。また、一定出力のボタンを押すと、入力関数に出力が一定となるような外部中性子源が入力される⁽²⁾。その後、入力形式を選択し、外部中性子源の入力が完了する。入力した外部中性子源は左側のグラフによって確認することができる。全ての入力が完了したら入力ボタンを押し、データ入力パネルでの作業を終了し、メインパネルに戻る。(図 4.4)

このとき、「4-3-1 バイナリファイル入力」および「4-3-2 テキストファイル入力」の機能を利用して外部中性子源の入力を行うことができる。

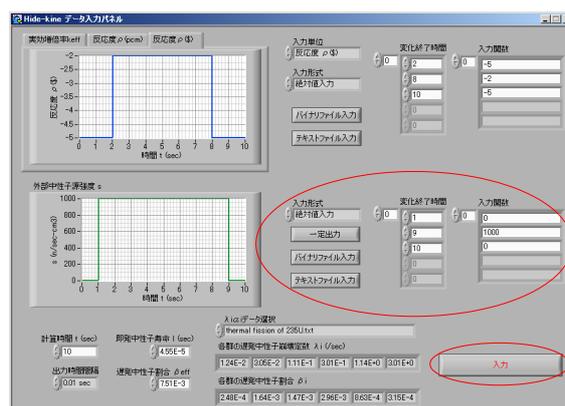


図 4.4 計算方法 [データ入力パネル](4)

初期値 $n(0)$ を入力し、計算開始ボタンを押して計算を開始する。計算中、計算開始ボタンは計算中止ボタンに変わり、計算中止ボタンを押すと計算が中断される。また、計算中はファイル入出力機能は使用できない。(図 4.5)

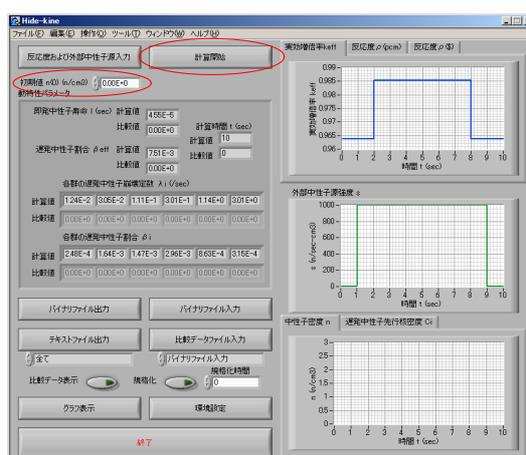


図 4.5 計算方法 [メインパネル](5)

⁽²⁾ ここで一定値とは $n(t)=1$ となるような外部中性子源のことである。

計算が終了したら、右側のグラフに計算結果が表示される。全ての作業が完了したら、終了ボタンを押して Hide-kiner を終了する。(図 4.6)

ここで、「4-2-2 バイナリファイル出力」の機能を用いることで計算結果および入力情報を「*.hid」バイナリファイルに出力することができる。このバイナリファイルは入力ファイル、および比較データとして使用することができる。また、「4-2-3 テキストファイル出力」の機能を用いることで計算結果をテキストファイルに出力することができる。このファイルは Excel など編集可能なスプレッドシート形式で出力されており、バイナリファイルと同様に入力ファイル、比較データとして使用することができる。さらに、「4-4-1 メインパネルでの解析」の機能を用いることで計算結果と比較データの比較を行うことができる。また、「4-4-2 グラフ表示パネルでの解析」の機能を用いることで、大きなグラフでの解析ができる。他にも、「4-5 環境設定」の機能によってグラフの色などの Hide-kiner2.0 のインターフェースをカスタマイズすることができる。

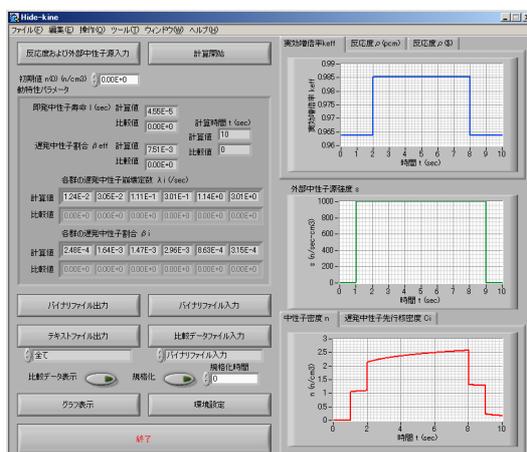


図 4.6 計算方法 [メインパネル](6)

4-2 計算結果ファイル入出力

4-2-1 バイナリファイル入力

まず、メインパネル上のバイナリファイル入力ボタンを押す。このとき計算中だった場合、計算は中止される。(図 4.7)

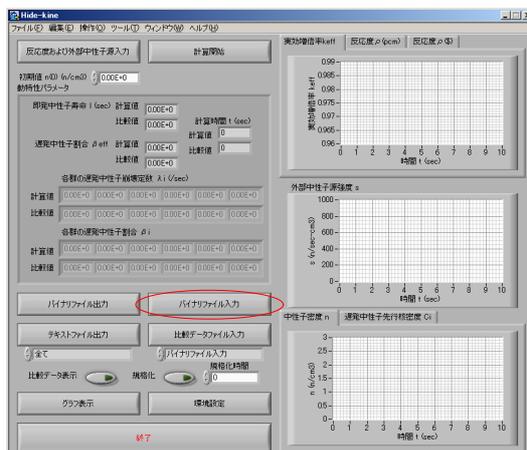


図 4.7 バイナリファイル入力 [メインパネル](1)

入力するバイナリファイルを選択するダイアログボックスが表示されるので、入力したいファイルを選択する。ここで、はじめに参照されるディレクトリは「4-5 環境設定」の機能を用いることで変更可能である。(図 4.8)

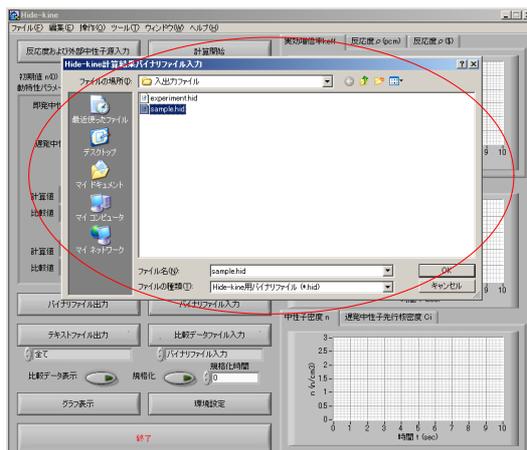


図 4.8 バイナリファイル入力 [メインパネル](2)

バイナリファイルが読み込まれ、各データが入力される。この入力データで計算を行うことも可能である。また、データ入力パネルにもこのデータは持ち越され、読み込んだデータを元に新しい入力を作成することが可能である。(図 4.9)

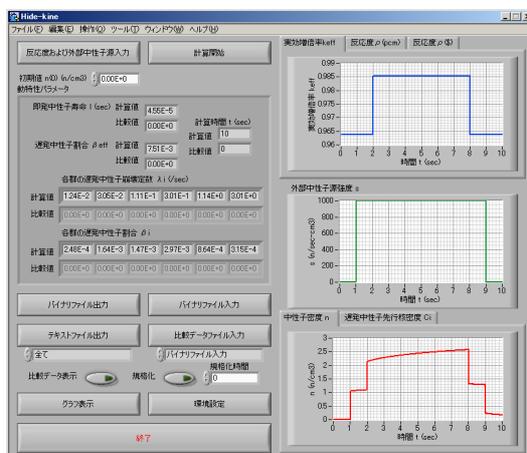


図 4.9 バイナリファイル入力 [メインパネル](3)

4-2-3 テキストファイル出力

まず、メインパネル上でファイル出力したい項目を選択し、テキストファイル出力ボタンを押す。このとき計算中だった場合、ファイル出力はできない(ファイル出力ができないと表示されたダイアログボックスが表示される)。(図 4.12)

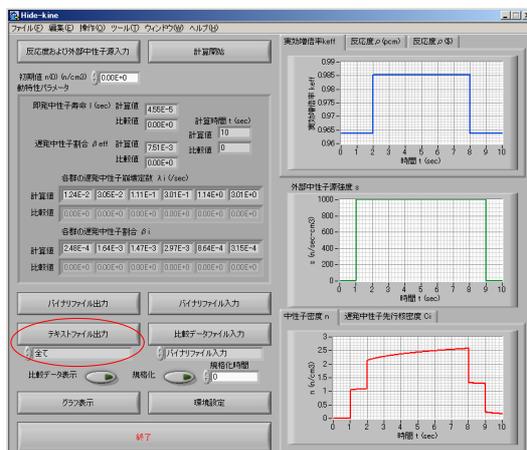


図 4.12 バイナリファイル出力 [メインパネル](1)

出力するテキストファイルを選択するダイアログボックスが表示されるので、出力するファイル名を入力する。ここで、はじめに参照されるディレクトリは「4-5 環境設定」の機能を用いることで変更可能である。(図 4.13)

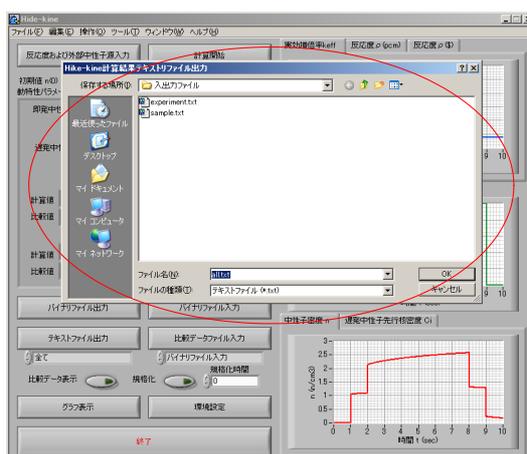


図 4.13 バイナリファイル出力 [メインパネル](2)

4-3 入力データファイル入力

4-3-1 バイナリファイル入力

バイナリファイル入力には反応度入力と外部中性子源入力の2種類があるが、入力方法は同じなので、本節では反応度入力についてのみ説明する。まず、データ入力パネル上でバイナリファイル出力ボタンを押す。(図 4.14)

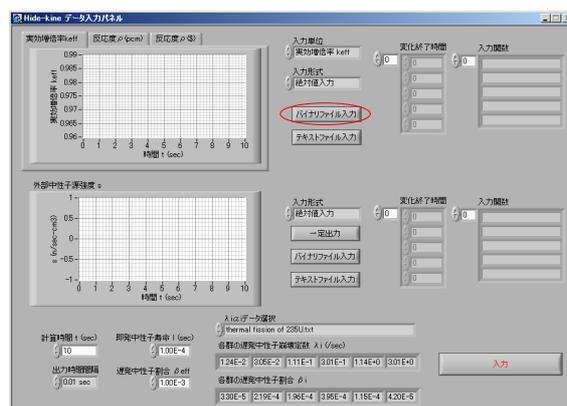


図 4.14 バイナリファイル入力 [データ入力パネル](1)

入力するバイナリファイルを選択するダイアログボックスが表示されるので、入力したいファイルを選択する。ここで、はじめに参照されるディレクトリは「4-5 環境設定」の機能を用いることで変更可能である。(図 4.15)

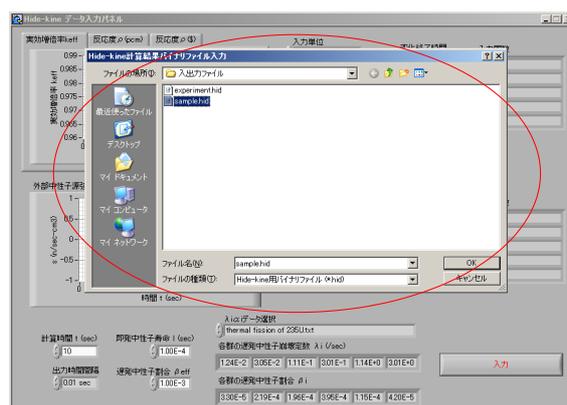


図 4.15 バイナリファイル入力 [データ入力パネル](2)

バイナリファイルが読み込まれ、各データが入力される。このとき入力される値は「入力単位（中性子源入力では入力されない）」、「入力形式」、「変化終了時間」、および「入力関数」である。計算時間などの制御パラメータ、遅発中性子寿命などの動特性パラメータは入力されないことに注意。（図 4.16）

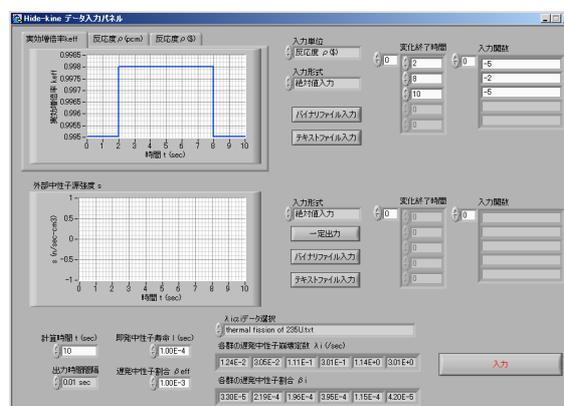


図 4.16 バイナリファイル入力 [データ入力パネル](3)

4-3-2 テキストファイル入力

テキストファイル入力には反応度入力と外部中性子源入力の2種類があるが、入力方法は同じなので、本節では反応度入力についてのみ説明する。テキスト入出力ファイルの作成方法は「5-3 テキスト入出力ファイル」を参照。まず、データ入力パネル上でテキストファイル出力ボタンを押す。(図 4.17)

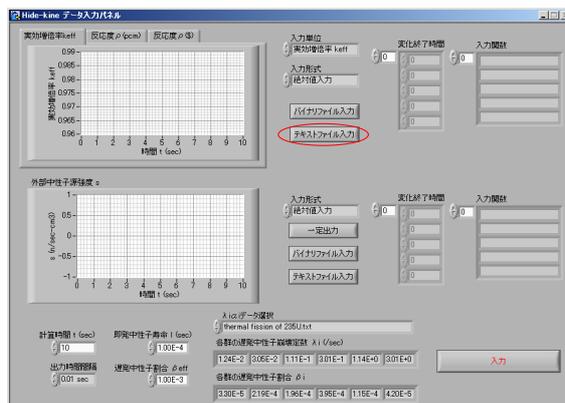


図 4.17 テキストファイル入力 [データ入力パネル](1)

入力するテキストファイルを選択するダイアログボックスが表示されるので、入力したいファイルを選択する。ここで、はじめに参照されるディレクトリは「4-5 環境設定」の機能を用いることで変更可能である。(図 4.18)



図 4.18 テキストファイル入力 [データ入力パネル](2)

テキストファイルが読み込まれ、各データが入力される。このとき入力される値は「入力単位」(中性子源入力では入力されない)、「変化終了時間」、および「入力関数」である。計算時間などの制御パラメータ、遅発中性子寿命などの動特性パラメータは入力されないことに注意。(図 4.19)

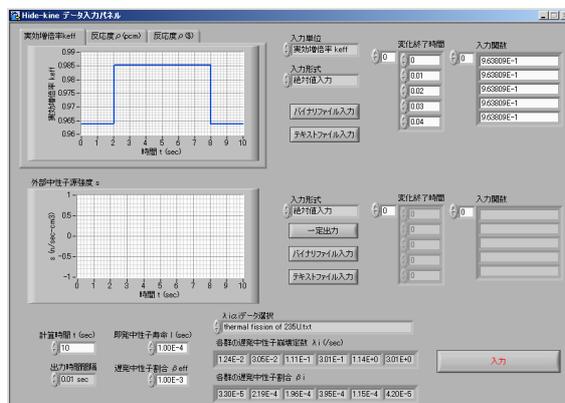


図 4.19 テキストファイル入力 [データ入力パネル](3)

4-4 データ解析

4-4-1 メインパネルでの解析

まず、メインパネル上で比較を行うデータの読み込みを行う。比較データファイルのファイル形式を選択し、比較データファイル入力ボタンを押す。ここで、テキスト入出力ファイルの作成方法は「5-3 テキスト入出力ファイル」を参照。(図 4.20)

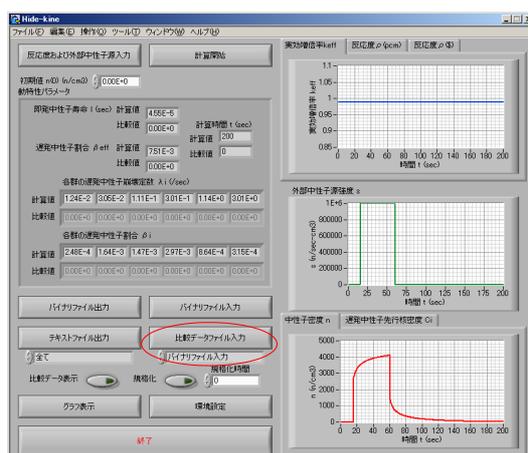


図 4.20 メインパネルでの解析 [メインパネル](1)

読み込む比較データファイルを選択するダイアログボックスが表示されるので、読み込みたいファイルを選択する。ここで、はじめに参照されるディレクトリは「4-5 環境設定」の機能を用いることで変更可能である。(図 4.21)

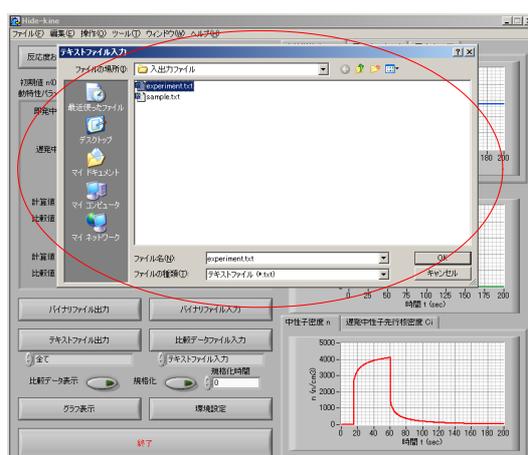


図 4.21 メインパネルでの解析 [メインパネル](2)

次に、比較データ表示ボタンを押して読み込んだ比較データを表示する。この入力例の図 4.22 では比較データが小さいためほとんどゼロの値を示している。また、グラフ以外に動特性パラメータに比較データが表示される。(図 4.22)

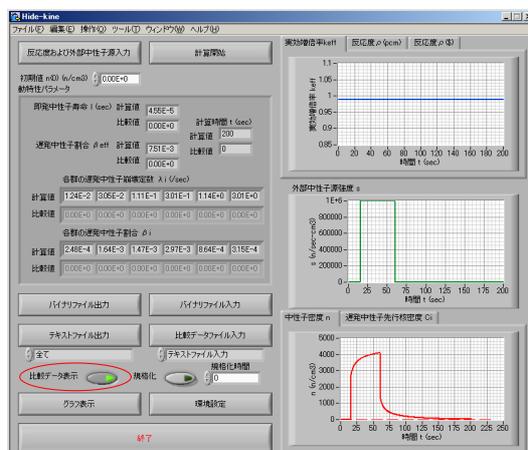


図 4.22 メインパネルでの解析 [メインパネル](3)

規格化したい場合は、規格化時間を指定して規格化ボタンを押す。規格化時間で規格化されたグラフが表示される。規格化時間を変えることで様々な時間で規格化でき、解析を行うことができる。ここで、規格化とは規格化時間で比較データと計算結果の値を一致させることである。(図 4.23)

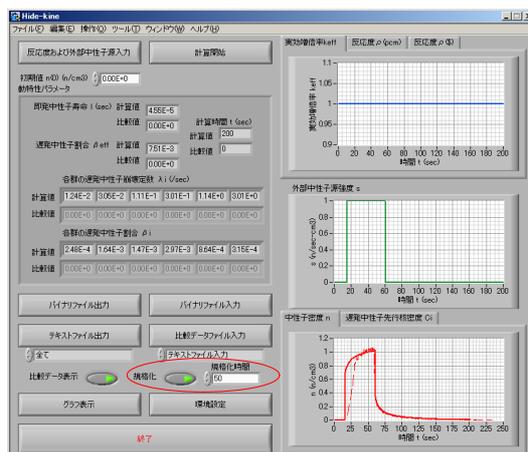


図 4.23 メインパネルでの解析 [メインパネル](4)

4-4-2 グラフ表示パネルでの解析

「グラフ表示パネルでの解析」は「4-4-1 メインパネルでの解析」の(1)、(2)と同様の操作が同じなので、ここでは省略する。まず、グラフ表示ボタンを押してグラフ表示パネルを開く。(図 4.24)

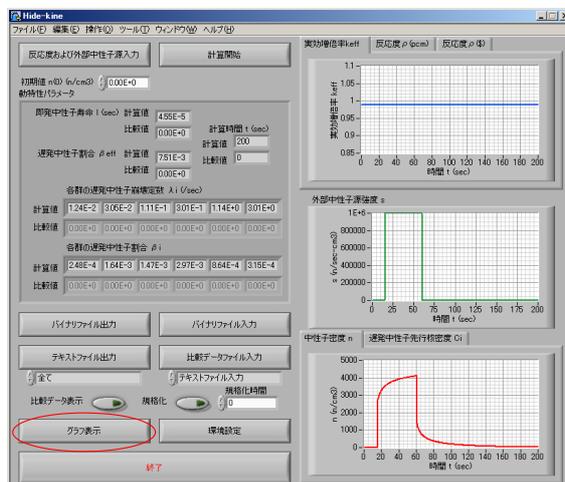


図 4.24 グラフ表示パネルでの解析 [メインパネル](1)

グラフ表示パネルが開くので、比較データ表示ボタンを押して読み込んだ比較データを表示する。この入力例の図 4.25 では比較データが小さいためほとんどゼロの値を示している。また、グラフ以外に動特性パラメータに比較データが表示される。(図 4.25)

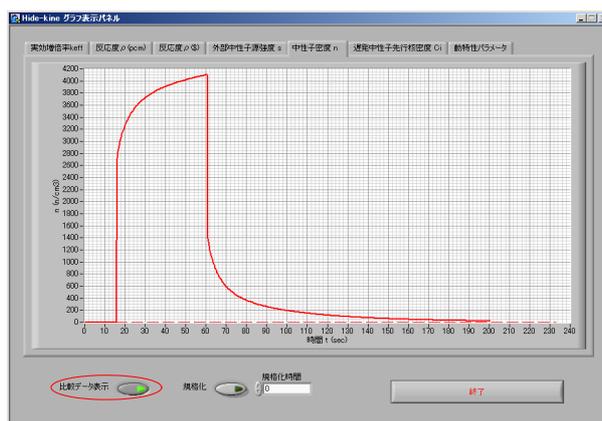


図 4.25 グラフ表示パネルでの解析 [グラフ表示パネル](2)

規格化したい場合は、規格化時間を指定して規格化ボタンを押す。規格化時間で規格化されたグラフが表示される。規格化時間を変えることで様々な時間で規格化でき、解析を行うことができる。ここで、規格化とは規格化時間で比較データと計算結果の値を一致させることである。(図 4.26)

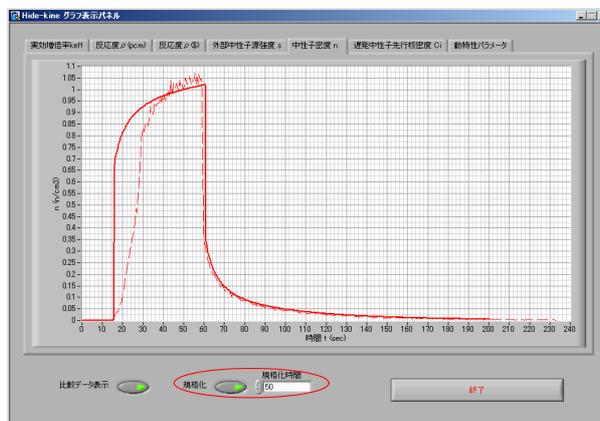


図 4.26 グラフ表示パネルでの解析 [グラフ表示パネル](3)

4-5 環境設定

メインパネル上の環境設定ボタンを押して、環境設定パネルを表示する。環境設定ファイルがない場合は全ての値がデフォルトとなっており、この環境設定を行うと環境ファイルが作成される。環境ファイルについては「5-4 環境ファイル」を参照。(図 4.27)

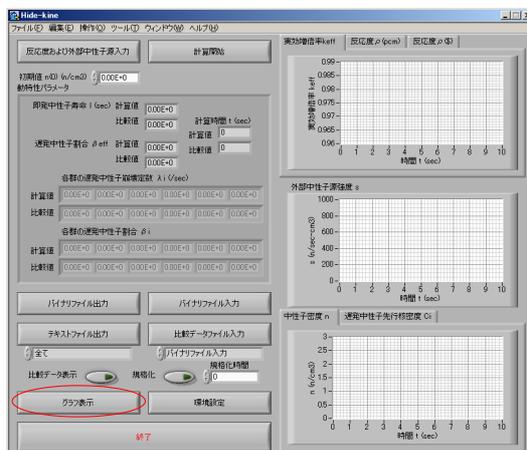


図 4.27 環境設定 [メインパネル](1)

グラフのプロットカラーを変更する場合には、まず、変えたいグラフのデフォルトチェックボックスのチェックをはずして、グラフカラーボックスをクリックする。ここで、デフォルトチェックボックスをチェックするとグラフカラーはデフォルトの色に戻る。(図 4.28)



図 4.28 環境設定 [環境設定パネル](2)

グラフカラーボックスをクリックすると、カラー選択ダイアログボックスが表示される。このダイアログボックスで色を選択し、グラフカラーを変更する。(図 4.29)



図 4.29 環境設定 [環境設定パネル](3)

計算時間間隔を変更したい場合には、グラフカラーの変更と同様にデフォルトチェックボックスのチェックをはずす。この計算時間間隔はあまり大きくしすぎると計算が収束しなくなるので注意。また、この計算時間間隔はグラフ出力時間間隔の公約数になっていることが望ましい。ここで、デフォルトチェックボックスをチェックすると計算時間間隔はデフォルトの値に戻る。デフォルトでは「2.000E-5」に設定されている。(図 4.30)



図 4.30 環境設定 [環境設定パネル](4)

$\lambda_i\alpha_i$ データファイルディレクトリパス入力、および入出力ファイルディレクトリパス入力は同じ操作で環境設定をするため、ここでは $\lambda_i\alpha_i$ データファイルディレクトリパス入力についてのみ説明を行う。ここでも、他の環境設定と同様にデフォルトチェックボックスのチェックをはずす。ファイルパスを直接入力してもよいし、ファイルをダイアログボックスで参照することもできる。参照する場合にはパス入力ボックスの右側にある参照ボタンを押す。(図 4.31)



図 4.31 環境設定 [環境設定パネル](5)

参照する場合には、選択したいディレクトリに移動して選択ボタンを押す。これによって、パス入力ボックスに参照したディレクトリパスが入力される。(図 4.32)

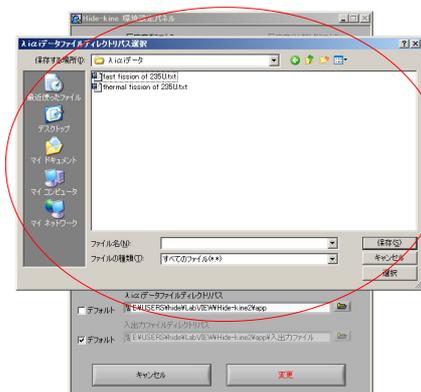


図 4.32 環境設定 [環境設定パネル](6)

環境設定が完了したら、変更ボタンを押して環境を変更してメインパネルに戻る。設定した環境を変更せずにメインパネルに戻りたいときはキャンセルボタンを押す。(図 4.33)



図 4.33 環境設定 [環境設定パネル](7)

第 5 章 Hide-kine 入出力ファイル

5-1 $\lambda_i\alpha_i$ 入力ファイル

Hide-kine2.0 では、動特性パラメータのうち主に原子炉の核種によって決定される λ_i 、および α_i に関しては外部ファイルとして用意しておき、これを読み込むことにより入力を行う。この $\lambda_i\alpha_i$ 入力ファイルは特定のディレクトリ⁽¹⁾ 内に置くことにより自動的に Hide-kine がファイル名を読み込み、そのファイル名を選択することで入力を行うことができる。

リスト 5.1 に ^{235}U の熱領域の核分裂反応における $\lambda_i\alpha_i$ 入力ファイルの例を示す。このように各群における λ と α を書き込むことで $\lambda_i\alpha_i$ 入力ファイルを作成することが可能である。ここで、区切りは全て `Tab` で行うことに注意してほしい。また、「ri ai」より上の部分は全てコメントとして認識される。しかしながら、 λ_i 、 α_i を書き込んだあとにはコメントを書き込んではいけない。作成を行う際には付属している「thermal.txt」、「fast.txt」を参考にして書くことを薦める。

リスト 5.1 $\lambda_i\alpha_i$ 入力ファイルデータ

thermal fission of 235U	/*	コメント	*/
	/*	コメント	*/
ri ai	/*	ri ai	*/
1.24E-2 3.30E-2	/*	1 1	*/
3.05E-2 2.19E-1	/*	2 2	*/
1.11E-1 1.96E-1	/*	3 3	*/
3.01E-1 3.95E-1	/*	4 4	*/
1.14E+0 1.15E-1	/*	5 5	*/
3.01E+0 4.20E-2	/*	6 6	*/

5-2 計算結果入出力バイナリファイル

Hide-kine2.0 では計算結果をバイナリ形式でファイル出力することができる。このバイナリファイルは入力ファイルとしても使用可能である。Hide-kine2.0 における計算結果入出力バイナリファイルの出力フォーマットを図 5.1 に示す。図中の各 VI については LabVIEW マニュアルを参照。

⁽¹⁾ デフォルトでは Hide-kine.exe と同ディレクトリ内の「 $\lambda_i\alpha_i$ データ」に設定されている。このディレクトリは環境設定で変更が可能である。

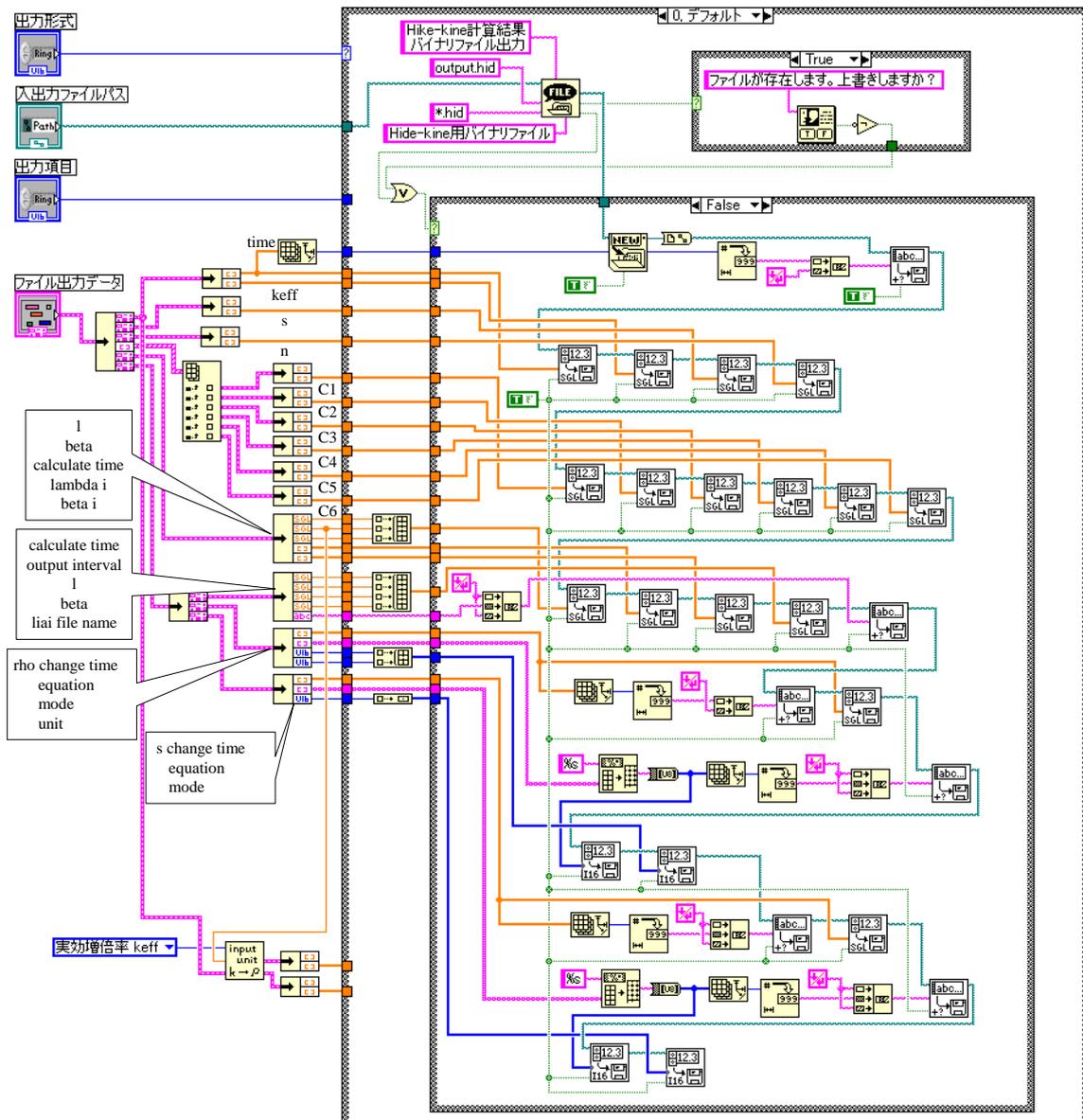


図 5.1 Hide-kine2.0 における計算結果入出力バイナリファイル「*.hid」の出力フォーマット

5-3 テキスト入出力ファイル

Hide-kine2.0 では、計算結果をテキストファイルで出力することができる。また、このテキストファイルは比較データファイルとして、反応度および外部中性子源入力関数として使用することができる。この Hide-kine2.0 用テキストファイルのフォーマット例（中性子密度 n 、動特性パラメータ）をリスト 5.2 およびリスト 5.3 に示す。

Hide-kine2.0 ではこのようなフォーマットで書かれた「入力ユニット」を、必要な分だけ記述することで作成することができる。ここで、他の入力データ（All data、keff、rho[pcm]、rho[doll]、s、Ci）については基本的に中性子密度 n フォーマットと同じである。「Nuclear data (*)」の「*」の部分を入力データ名（rho[doll] など）に変換することでその入力データユニットとなる。テキスト入出力ファイルは、これらの入力フォーマットに従った入力データを記述することにより作成することができる。入力データユニットは順不同で記述してよいが、入力データ名（Nuclear data (keff) など）から復帰改行までがその入力データユニットとなる。その他の部分については全てコメント行となる。また、データの区切りは全て `Tab` で行うことに注意してほしい。作成を行う際には付属している「sample.txt」、「experiment.txt」を参考にして書くことを薦める。以下で使用目的別に説明を行う。

また、これらのテキスト入出力ファイル中のデータは、Excel などで使用されているスプレッドシート形式で書かれているため、データの受け渡しが容易⁽²⁾ となっている。

比較データファイル

比較データファイルとしてテキスト入出力ファイルを用いる場合、使用可能な入力ユニットは「Kinetics parameter」、「keff」、「s」、「n」、「Ci」である。また、これらの入力値として関数を用いることはできない。

反応度および外部中性子源入力関数ファイル

反応度および外部中性子源入力関数ファイルとしてテキスト入出力ファイルを用いる場合、使用可能な入力ユニットは「keff」、「rho[pcm]」、「rho[doll]」、「s」である。これらの入力値として変数を x として関数で入力を行うことができる。

テキスト出力ファイル

計算結果のテキスト出力ファイルとしては、選択した出力項目によって出力される入力ユニットが変化する。出力項目を「全て」とした場合のみ「All data」が出力される。また、テキストファイル出力した場合には、ファイルの先頭に出力ファイル情報（ファイル名、出力時間）が追加される。

⁽²⁾ 具体的にはデータをコピー&ペーストで受け渡しができる。

リスト 5.2 テキスト入出力ファイル (中性子密度 n フォーマット)

```

Nuclear data (n)                /* Nuclear data (n) */
      t      n(t)                /*      コメント      */
0.00000E+0 0.00000E+0          /* time    value */
1.00000E+0 0.00000E+0          /* time    value */
2.00000E+0 0.00000E+0          /* time    value */
3.00000E+0 1.09217E+0          /* time    value */
4.00000E+0 2.27868E+0          /* time    value */
5.00000E+0 2.36822E+0          /* time    value */
6.00000E+0 2.43612E+0          /* time    value */
7.00000E+0 2.49085E+0          /* time    value */
8.00000E+0 2.53635E+0          /* time    value */
9.00000E+0 2.57481E+0          /* time    value */
1.00000E+1 1.27654E+0          /* time    value */
                                  /* NL (new line) */

```

リスト 5.3 テキスト入出力ファイル (動特性パラメータフォーマット)

```

Kinetics parameter
Calculate time 1.00000E+1
Prompt-neutron lifetime l 4.55000E-5
Delayed neutron fraction beta-eff 7.51000E-3
Delayed neutron fraction for each group beta-i
1.24000E-2 3.05000E-2 1.11000E-1 3.01000E-1 1.14000E+0 3.01000E+0
Delayed neutron constants for each group lambda-i
2.47830E-4 1.64469E-3 1.47196E-3 2.96645E-3 8.63650E-4 3.15420E-4

/*      Kinetics parameter      */
/*      コメント                  cal_time      */
/*      コメント                  l          */
/*      コメント                  eff         */
/*                  コメント      */
/*      1      2      3      4      5      6      */
/*                  コメント      */
/*      1      2      3      4      5      6      */
/*                  NL (new line)      */

```

5-4 環境ファイル

Hide-kine2.0 では環境ファイルを変更することによって、Hide-kine2.0 のインタフェース機能をカスタマイズすることができる。リスト 5.4 に環境ファイルの例を示す。以下に示しているものは全てデフォルトのものである。ここで、「 $\lambda_i\alpha_i$ データファイルディレクトリパス」、および「入出力ディレクトリパス」についてはデフォルトのディレクトリ⁽³⁾ の場合「Def」と入力する。

リスト 5.4 環境ファイル例

16860	/*	反応度グラフカラー	*/
1150000	/*	中性子源グラフカラー	*/
16711680	/*	出力グラフカラー	*/
16860	/*	反応度(比較)グラフカラー	*/
1150000	/*	中性子源(比較)グラフカラー	*/
16711680	/*	出力(比較)グラフカラー	*/
16711680	/*	C1 グラフカラー	*/
16860	/*	C2 グラフカラー	*/
1150000	/*	C3 グラフカラー	*/
16750592	/*	C4 グラフカラー	*/
10485940	/*	C5 グラフカラー	*/
46233	/*	C6 グラフカラー	*/
2.000000000000000E-5	/*	計算時間間隔	*/
Def	/*	i i データファイルディレクトリパス	*/
Def	/*	入出力ディレクトリパス	*/

⁽³⁾ デフォルトでは Hide-kine.exe と同ディレクトリ内の「 $\lambda_i\alpha_i$ データ」、および「入出力ファイル」に設定される。

第 6 章 VI 構造

Hide-kine2.0 の VI 構造を図 6.1 に示す。Hide-kine2.0 はメインとなる Main VI と、Main VI に動的に呼び出される Dynamic VI に大きく分けられる。また、これらの VI は機能別にサブ VI に分けられている。以下で各 VI について簡単に説明する。

Hide-kine VI 群

Hide-kine VI 全ての VI を統括するメインプログラム VI
calculate kinetics VI 一点炉動特性方程式を計算する VI
Ci0 VI 遅発中性子先行核濃度 C_i の初期値を計算する VI
input unit VI 反応度の単位を変換する VI
normalized VI ある時間において規格化を行う VI
read env VI 環境ファイルを読み込む VI

data input VI 群

data input VI 動特性パラメータなどの入力を行う VI
calculate equation VI 入力した関数を計算する VI
input unit VI 反応度の単位を変換する VI
liai input VI $\lambda_i \alpha_i$ ファイルを読み込む VI
cluster sort VI クラスタのソートを行う VI
input mode VI 絶対値入力を相対値入力、内挿入力に変換する VI
number to strings 2 VI 改良された、数字から文字に変換する VI

env VI 群

env VI 環境設定を行う VI
write env VI 環境ファイルを書き込む VI
Write Characters To File 2 VI 改良された、文字列をファイルに書き込む VI

graph out VI 群

graph out VI グラフ表示、データ解析を行う VI

input unit VI 反応度の単位を変換する VI

normalized VI ある時間において規格化を行う VI

file inp VI 群

file inp VI ファイル入力を行う VI

file out VI 群

file out VI ファイル出力を行う VI

input unit VI 反応度の単位を変換する VI

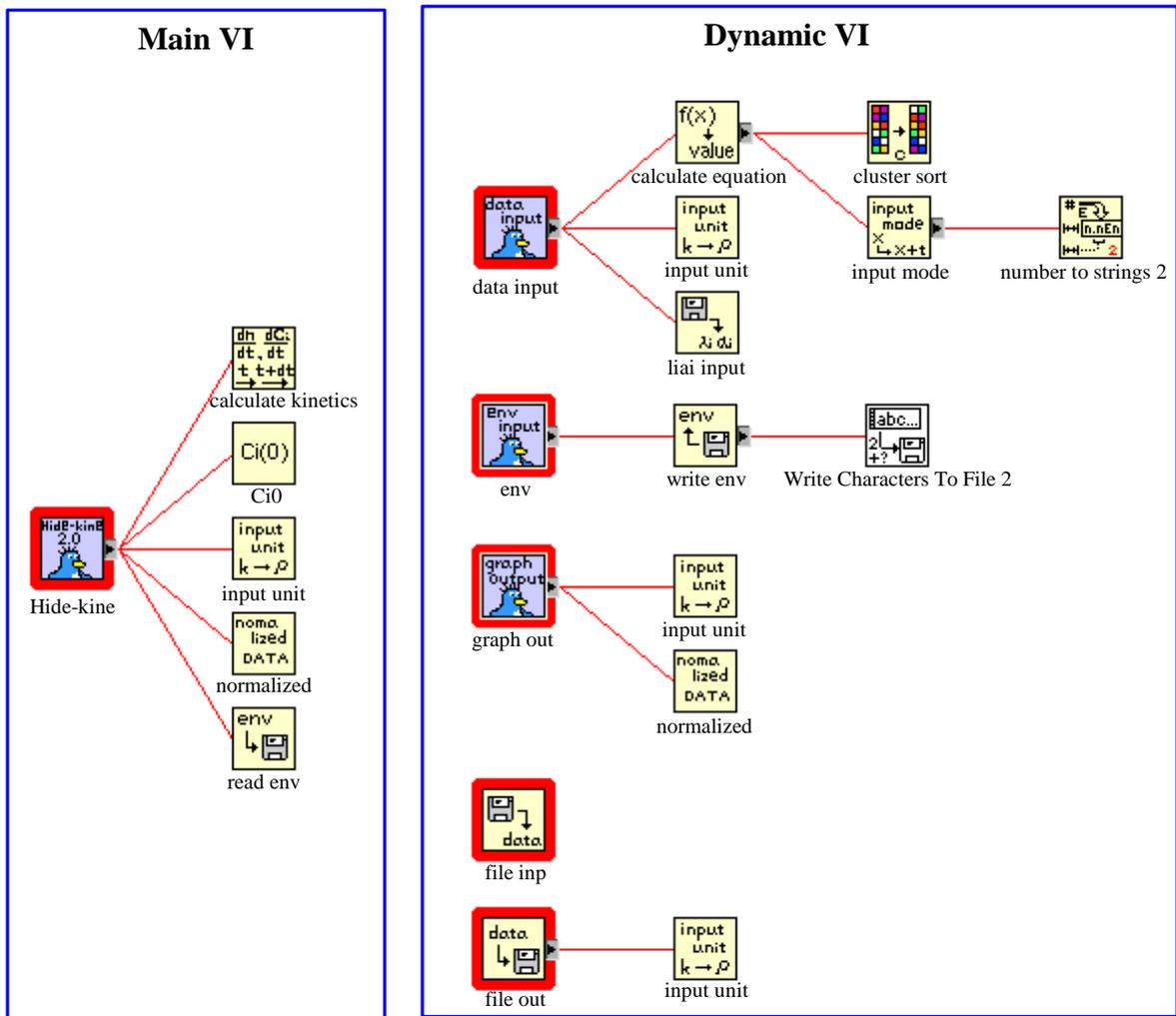


図 6.1 Hide-kine2.0 の VI 構造

第 7 章 バージョン情報

ver.2.00 大幅な計算時間の短縮、インタフェース機能の拡張

ver.1.03 相対値入力のバグ修正

ver.1.01 反応度選択表示バグ修正

ver.1.00

連絡先

東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻
中性子デバイス工学研究室

遠藤 秀樹 (Hideki Endo)

address : 〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-01-2

TEL : 022-795-7909

E-mail : hide@neutron.qse.tohoku.ac.jp

website : <http://www.neutron.qse.tohoku.ac.jp/>