

配管系耐震性能評価プログラム FLAP-II

高圧ガス設備等耐震設計基準（簡易耐震性能評価）

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震以降、配管を含めた産業設備の耐震性能の重要性がより一段と高まってきている。現在、配管系に対しては、高圧ガス設備等の耐震設計に関する基準が適用されており、その改正の経緯は以下の通りである。

兵庫県南部地震の地震被害により高圧ガス設備の耐震設計方法の見直しが行われ、通商産業省告示第143号において、高圧ガス設備等耐震設計基準（通商産業省告示第515号）の一部が1997年3月に改正された。本基準の適用対象は新設設備であるが、配管系に対しては一部能力増強による改造といった場合にも、接続する既設配管を対象として耐震性能の見直しを行うよう行政指導が行われている。

このため、冷凍則⁽¹⁾、液化則⁽²⁾、コンビ則⁽³⁾、特定則⁽⁴⁾等が適用される事業所、工場では、高圧ガス設備等耐震設計基準に基づき、設備を適正に維持することや、本基準が適用されていない設備についても状況把握を行い必要に応じ補強等を行うことが要求されている。本基準を適用すると、配管系では、耐震設計対象として検討すべき項目が多く、配管設計、保全・工務担当の方々には短時間で適切な評価を得られる計算プログラムを求めている。

2011年12月20日に改正された高圧ガス設備等耐震設計基準の告示第236号においては、2003年に発生した十勝沖地震の長周期地震動による被害を踏まえ、主に第二設計地震動に関する耐震設計方法が改正され、2012年7月に高圧ガス設備等耐震設計指針（2012）が発行された。

2019年9月1日には高圧ガス設備等の耐震性能を定める告示（平成30年経済産業省告示

第220号）が施行された。この改正された耐震告示においては、設計地震動、応答解析、算定応力等、耐震設計用許容応力等、配管支持の方法の規定は削除され、要求される耐震性能のみが規定化（性能規定化）された。ただし、「高圧ガス設備等の耐震性能を定める告示の機能性基準の運用について」の通達においては、要求される性能を満たすとみなす設計基準の例として以下の「例示基準」を示しており、以下の例示基準に記載の事項は、従来からの高圧ガス設備等耐震設計基準に記載の事項とほぼ同様の内容である。

- ・ 高圧ガス設備等の耐震設計に関する基準（レベル1）KHKS 0861(2018)
- ・ 高圧ガス設備等の耐震設計に関する基準（レベル2）KHKS 0862(2018)

本稿では、高圧ガス設備等の耐震設計に関する基準（平成30年経済産業省告示第220号、耐震告示）に対応した配管系耐震性能評価プログラム FLAP-II の特徴、適用範囲及び簡易耐震性能評価機能を紹介する。

2. 特徴及び適用範囲

FLAP-II は、高圧ガス設備等の耐震設計に関する基準（平成30年経済産業省告示第220号、耐震告示）に対応した配管系耐震性能評価プログラムであり、この基準に記載された配管支持の方法（簡易耐震性能評価）に対応している唯一の市販プログラムである。このプログラムは、重要度Ⅱ、Ⅲの配管系に標準的に適用される簡易耐震性能評価（許容スパン法）、ならびに既存配管系耐震診断法のガイド（平成27年3月高圧ガス保安協会）における重要度Ⅱ、Ⅲの配管系に適用される簡易耐震定量評価に対応して

いる。また、配管系の重要度 I a、I に適用される応答解析法のひとつである修正震度法を用いた評価にも対応している。さらに、ASME B31.3（高圧ガスの配管に関する基準 KHKS0801）に準拠した熱応力解析を用いた評価も実施可能である。

表 1 に、FLAP-II の主な仕様の一覧を示す。データベースには、標準管部品の寸法、管材料物性値、継手諸元などを内蔵している。

3. 簡易耐震性能評価機能

FLAP-II の簡易耐震性能評価機能について紹介する。簡易耐震性能評価機能の相当配管スパン長の計算プログラムフローを図 1 に示す。

図 2、図 3 には FLAP-II のメニュー画面、データ入力ウィンドウを示す。FLAP-II のデータ入力ウィンドウは全てワークシート（表形式）になっている。以下に、主な入力ウィンドウの詳細について解説する。

- ・ [パイプ、マテリアルデータ] ウィンドウ (図 4、図 5) : 固有の認識番号 (ID) を付けて 1 組の口径、肉厚、保温材重量、内容物の比重などを入力する。[パイプ、マテリアルデータ] ウィンドウで、登録されている配管部品を利用することで属性を入力する手間を省くことができる。同図例では JIS G3454 の寸法に準拠した JIS 材を用いている。また、よく使う管材質については、「よく使う材質・ダイアログ」に登録することもできる。
- ・ [座標データ] ウィンドウ (図 6) : 配管の要素種類 (直管、エルボ、ティーなど) と要素の寸法を入力するが、配管部品ごとに、あるいは、形状を指定すべき曲がり部などに認識すべき節点番号 (節点文字列) を付けて、要素種類と座標などを入力する。一つの配管要素は開始節点「From」と終端節点「To」とで構成されるが、連続する配管部品であれば、開始節点「From」は直前の配管部品の終端節点と同じであると見みなすので、

入力の省略が可能である。また、左上にある「Dlg (ダイアログ)」ボタンをクリックするか、F5 キーを押すか、あるいは、右クリックすることで、配管部品に関する入力ダイアログボックスを開くことができる。主な配管要素の記号には、直管「P」、曲管「C」、分岐管「T」、弁「V」、伸縮継手「B」、フランジ「F」、ダミーサポート (トラニオンサポート) 「D」がある。曲管「C」では、ロングエルボを標準としているので、ロングエルボを除く曲率半径をもつエルボでは曲率半径を入力する。ただし、簡易耐震性能評価では曲率半径の違いで結果は変わらない。曲管「C」での相対座標値はエルボの前後の直管を見かけ上、延長して交わる点 (正接交点) までの値となる。

- ・ [拘束点データ] ウィンドウ (図 7) : 先に入力した節点番号 (節点文字列) に対して、配管の支持方法を入力する。X 方向、Y 方向、および Z 方向の 3 方向について、それぞれの支持がある場合には「1」を該当する列に入力する。また、左上にある「Dlg」ボタンをクリックするか、F5 キーを押すか、あるいは、右クリックすることで、拘束点データに関するダイアログボックスを開くことができる。拘束点とは、X 方向の地震の場合は X 軸方向を拘束している点、Y 方向の地震の場合は Y 軸方向を拘束している点、Z 方向の地震の場合は Z 軸方向を拘束している点を指す。したがって、例として、Y 方向しか拘束していない場合、Y 方向の地震の場合では拘束点であるが、X 方向と Z 方向の地震の場合では拘束点ではない。
- ・ [グループ化による地震時相対変位の作成] ウィンドウ (図 8) : 支持構造物 (塔槽類、支持架構) の支持点位置での応答変位を入力する。簡易耐震性能評価において、支持構造物の支持点位置での応答変位は地表面設計震度、支持構造物の支持点位置、および支持構造物の全高によって算出することがで

きる。その詳細は、指針を参照願いたい。また、同じ支持構造物で支持される場合には配管系にとって有害な相対変位は生じないとするので、同じ支持構造物で支持されている場合には、その情報をグループとして入力する。また、地震方向とその方向の支持構造物の応答変位を入力する。

配管特性や座標データ、拘束点データ等は共通の入力データとして簡易耐震性能評価機能、詳細計算機能及び熱応力解析機能に用いることが可能である。

データ入力の順番は、[オプション]、[パイプ、マテリアルデータ]、[座標データ]、[拘束点データ]、[サポートグループによる地震時相対変位の作成]、[荷重データ]とすることが多い。

メニューバーの[スケッチ] (図 9) で入力した配管形状の概略(スケッチ)を見ることができる。また、メニューバーの[チェック]で入力データのエラーの有無を確認することができる。なお、入力データの修正は入力作業のどの時点でもできる。FLAP-IIでは表計算と同様に、編集機能を使って追加、削除、変更などを簡単に行うことができる。

入力データを作成した後、メニューバー[ファイル]、[計算]を選択し、計算の実行ダイアログボックス(図 10)で計算条件を設定後、計算を行う。図 11 に計算結果を示す。計算結果のウィンドウでは結果の要約、各組み合わせ番号の結果要約および XYZ 各方向の評価結果の詳細を表示することができる。さらに、[印刷]を指定すれば入力データと結果を印刷することもできる。

配管スパン長さの計算には分布重量あるいは集中重量で補正した相当長を使用し、投影長さの計算にはその要素の投影長を使用している。

「組み合わせ番号」とは、入力した配管形状に沿った順序におけるスパンの番号を示してい

る。したがって、例えば図 11 中の「組み合わせ番号 5」とは、5 番目のスパンで相当配管スパン長が最大であり、許容スパン長との比率が 0.536 (53.6%) であったことを示している。このように、最大値が示されるので、許容値を超えている場合にも判断がすぐにつく。

結果の要約では配管のサイズごとに最大の値を表示するので、一覧表にする場合にこの結果をコピー・ペーストして、報告書等に利用することができる。簡易耐震性能評価の結果ファイルは、テキストファイルに出力することもできる。

また、許容スパン法結果のモデル表示画面(図 12)にて、組み合わせ番号をリスト化し、選択した組み合わせ番号をスケッチ上でハイライト表示することもできる。

以上のように、FLAP-II を用いることで簡易耐震性能評価を効率的に実施できる。

4. おわりに

FLAP-IIは、配管系の耐震性能評価プログラムとして簡易耐震性能評価機能を持つ唯一の市販プログラムであり、簡易耐震性能評価機能における入力データを詳細計算及び熱応力解析にも利用できる。

FLAP-IIの概要は、FLAP-IIホームページ (<https://www.chiyodacorp.com/jp/service/chas/flap2/>) を、またお問い合わせは、FLAP-II サポート係アドレス

(flap2_support@chiyodacorp.com) を利用願いたい。

<注釈>

- (1) 冷凍保安規則
- (2) 液化石油ガス保安規則
- (3) コンビナート等保安規則
- (4) 特定検査規則

表 1 FLAP-II 仕様一覧

項目	No.	機能
入力	1	表形式のすぐわかる入力方法
	2	入力エラーのチェック
	3	標準管部品の寸法データベース内蔵
要素	1	直管
	2	曲がり管(エルボ、マイタベンド)
	3	分岐管(成形ティー等)
	4	ノズル・フレキシビリティ
	5	SIF(応力集中係数)自動、ユーザー入力
	6	伸縮継手(ヒンジ、ジンバル、ユニバーサル・タイプ等)
	7	フランジ継手
	8	スプリング・ハンガー
	9	非線形サポート(リミット・ストップ)/自重浮き上がり自動判定
	10	剛体要素(弁等)
	11	管・継手諸元データベース
	12	管材料物性値データベース
解析	1	内圧
	2	自重
	3	熱
	4	強制変位
	5	地震荷重 ・ 加速度応答/支持点ごとに異なる設計震度を指定可能 ・ 応答変位/支持構造体のグループ化が可能
	6	風荷重
	7	積雪荷重
	8	フランジ評価(応力評価/漏洩評価)
評価基準	1	高圧ガス設備等耐震設計基準 ・ レベル 1 耐震性能評価 簡易耐震性能評価(許容スパン法) 及び 詳細耐震性能評価 ・ レベル 2 耐震性能評価 等価線形解析法
	2	ASME B31.3 (高圧ガスの配管に関する基準 KHKS 0801)
	3	ASME B31.1

FLAP-II バージョン 2.9.7 動作環境:

- (1) Windows 10 (Professional / Enterprise) バージョン 21H2 / 22H2 (*1)
- (2) Microsoft Excel 2016 / 2019, Microsoft 365
- (3) メモリーは 512Mbyte 以上を推奨
- (4) ハードディスクは 80Mbyte 以上の空き容量を推奨
- (5) HASP キーが必要 (*2)
- (6) 管理者権限でインストール・起動
- (7) 言語設定は日本語

(*1) Windows 8 以前(Windows 7、Windows VISTA、Windows XP 等)には対応していません。仮想デスクトップやリモートデスクトップ環境での動作確認は行っていません。

(*2) HASP キーはスタンドアロン形式であり、ライセンスサーバー形式での使用はできません。

お問い合わせ

千代田化工建設株式会社 FLAP-II サポート係

E-mail: flap2_support@chiyodacorp.com

URL: <https://www.chiyodacorp.com/jp/service/chas/flap2/>

※ FLAP-II のお問い合わせは、E-mail にて受付致します。弊社の FAX は廃止となりました。

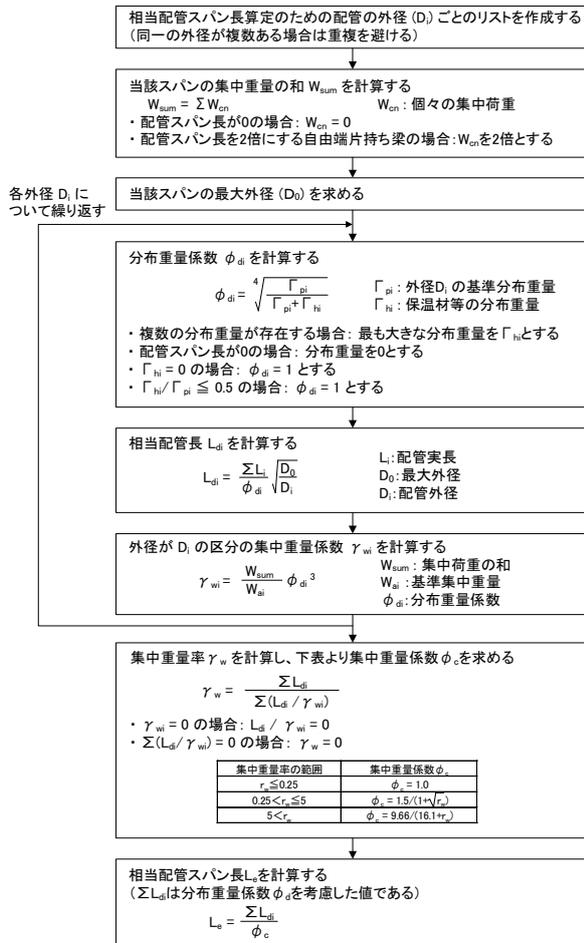


図1 FLAP-II 許容スパン法
相当配管スパン長 計算プログラムフロー

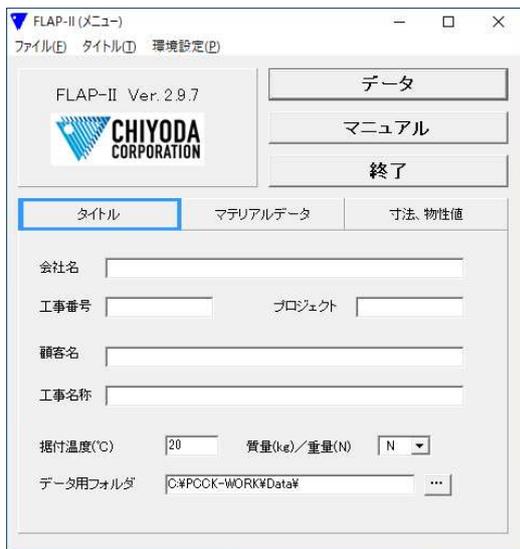


図2 メニュー画面

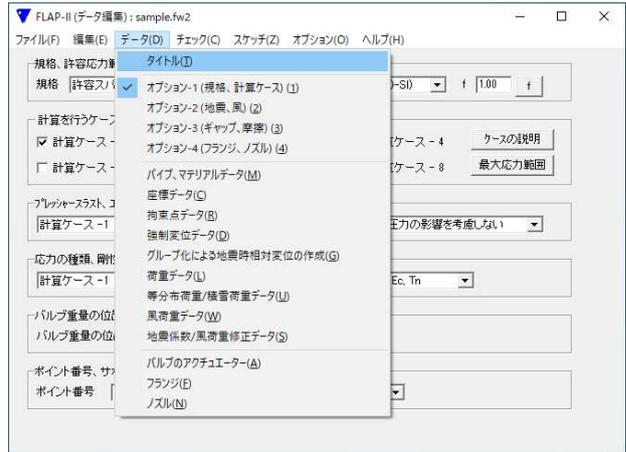


図3 データ入力ウィンドウ

Mt I ID	Case	Size	OD	Thick (mm)	CA (mm)	Wt (N/m)	MC	I Temp
6B	C	6.000	165.20	7.10	0.00	271	83	20.0
4B	C	4.000	114.30	6.00	0.00	157	83	20.0

図4 パイプ、マテリアルデータウィンドウ



図5 パイプ、マテリアルデータウィンドウ

From	To	ID	Mt I ID	X (m)	Y (m)	Z (m)	Tee/R	SI (in)	SI (out)
A	P	6B		0.000	19.000	0.000		1.000	1.000
	B	6B		0.000	-3.000	0.000	L	Auto	Auto
	C	6B		0.000	0.000	-2.000		1.000	1.000
	D	6B		0.000	0.000	-2.000	L	Auto	Auto
	E	P	6B	1.000	0.000	0.000		1.000	1.000
	F	C	6B	1.000	0.000	0.000	L	Auto	Auto
	G	P	6B	0.000	-2.000	0.000		1.000	1.000
	H	T	6B	0.000	-2.000	0.000	3	Auto	Auto
	I	P	6B	0.000	-0.500	0.000		1.000	1.000
	J	C	4B	0.000	-1.500	0.000	L	Auto	Auto
	K	P	4B	1.500	0.000	0.000		1.000	1.000
	L	P	4B	8.000	0.000	0.000		1.000	1.000
	M	P	4B	0.000	0.000	1.400		1.000	1.000
	N	V	4B	0.000	0.000	0.200		1.000	1.000
	O	P	4B	0.000	0.000	1.400		1.000	1.000
	P	C	4B	0.000	0.000	1.000	L	Auto	Auto
	Q	P	4B	0.000	-2.000	0.000		1.000	1.000
	R	P	4B	1.500	0.000	0.000		1.000	1.000
				6.000	0.000	0.000		1.000	1.000

図6 座標データウィンドウ

FLAP-II (データ編集) : sample.fw2

ファイル(F) 編集(E) データ(D) チェック(C) スケッチ(S) オプション(O) ヘルプ(H)

ダイアログ(F5) 拘束点のポイント番号

Point	ID	Dx	Dy	Dz	Rx	Ry	Rz	FF X	FF Y	FF Z	Gap +X	Gap -X	Gap +Y
A	1	1	1	1	1	1	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	1	1	0	0	0	0	0	0.30	0.30	0.00	0.00	0.00	999.00
E	0	1	1	0	0	0	0	0.00	0.30	0.30	0.00	0.00	999.00
G	1	0	1	0	0	0	0	0.30	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00
K	1	1	1	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
L	1	1	1	1	1	1	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N	1	1	1	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q	1	1	1	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R	1	1	1	1	1	1	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

図7 拘束点データウインドウ

サポートグループによる地震時相対変位の作成

編集(E) 強制変位データの作成(M) 閉じる(C)

レベル1のデータ 支持点のポイント

ポイント	グループ	方向	Dx(mm)	Dy(mm)	Dz(mm)	Rx(度)	Ry(度)	Rz(度)
A	1	X	45.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A	1	Z	0.00	0.00	45.40	0.00	0.00	0.00
C	1	X	41.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	1	Z	0.00	0.00	41.00	0.00	0.00	0.00
E	1	X	41.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E	1	Z	0.00	0.00	41.00	0.00	0.00	0.00
G	1	X	37.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
G	1	Z	0.00	0.00	37.80	0.00	0.00	0.00
K	2	X	11.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	2	Z	0.00	0.00	11.70	0.00	0.00	0.00
L	2	X	11.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
L	2	Z	0.00	0.00	11.70	0.00	0.00	0.00
N	1	X	34.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N	1	Z	0.00	0.00	34.50	0.00	0.00	0.00
Q	2	X	11.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q	2	Z	0.00	0.00	11.70	0.00	0.00	0.00
R	2	X	11.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R	2	Z	0.00	0.00	11.70	0.00	0.00	0.00

図8 グループ化による地震時相対変位の作成ウインドウ

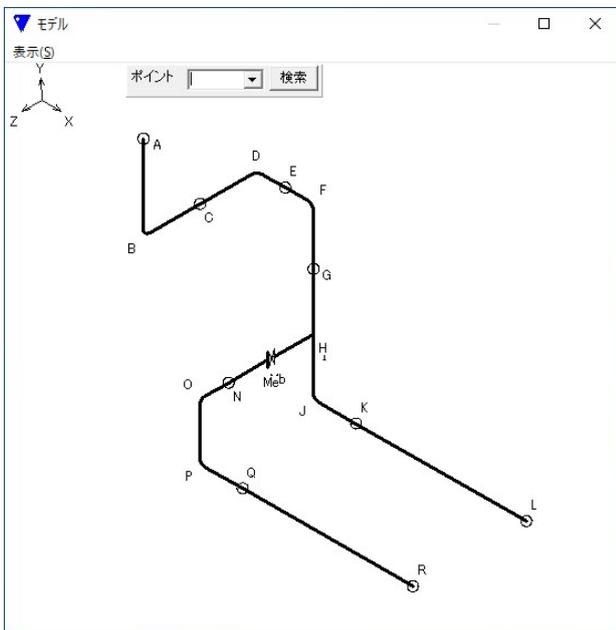


図9 スケッチ

許容スパン法の計算実行オプション

エラーがなければ次の計算を行います

許容スパン法による耐震性能評価

許容スパンの表

分岐管の外径が母管の外径の1/2 以下の場合の処理を行う

ガミーマ部の拘束条件を付け根に移行する

熱と自重の計算

OK キャンセル

図10 計算の実行ダイアログボックス

FLAP-II (許容スパン法結果) : sample.fw2

ファイル(F) 編集(E) スケッチ(S) オプション(O) ヘルプ(H)

許容結果の要約 合格

相当配管スパン長の比率が最大の組み合わせ

計算ケース	地震方向	組み合わせ番号	外径(mm)	相当配管スパン長(m)	許容スパン長(m)	比率	判定
1	X	5	185.2	6.805	12.700	0.536	合格(*)
1	X	7	114.3	3.000	10.700	0.280	合格
1	Y	4	185.2	9.176	12.700	0.723	合格(*)
1	Y	6	114.3	6.000	10.700	0.561	合格
1	Z	1	185.2	8.000	12.700	0.630	合格(*)
1	Z	5	114.3	6.000	10.700	0.561	合格

(*)各地震方向の最大許容値比率

変位吸収能力の比率が最大の組み合わせ

計算ケース	地震方向	組み合わせ番号	外径(mm)	相対変位量(mm)	変位吸収能力(mm)	比率	判定
1	X	3	185.2	49.50	78.82	0.628	合格
1	X	7	114.3	46.20	55.38	0.834	合格(*)
1	Z	4	185.2	46.20	71.77	0.644	合格(*)
1	Z	7	114.3	46.20	75.37	0.613	合格

(*)各地震方向の最大許容値比率

図11 許容スパン法の計算結果(要約)

許容スパン法結果のモデル表示

表示(S)

並べ替え	
配管外径(mm)	114.30
相当スパン長(m)	3.000
許容スパン長(m)	10.700
比率	0.280
相対変位量(mm)	45.200
変位吸収能力(mm)	55.375
比率	0.834

組み合わせ番号リスト

選択なし	比率
1 X 1	0.394 / 0.000
1 X 2	0.472 / 0.000
1 X 3	0.338 / 0.628
1 X 4	0.485 / 0.000
1 X 5	0.536 / 0.311
1 X 6	0.000 / 0.000
1 X 7	0.630 / 0.634
1 X 8	0.000 / 0.000
1 Y 1	0.157 / 0.000
1 Y 2	0.236 / 0.000
1 Y 3	0.717 / 0.000
1 Y 4	0.723 / 0.000
1 Y 5	0.702 / 0.000
1 Y 6	0.561 / 0.000
1 Y 7	0.421 / 0.000
1 Y 8	0.561 / 0.000
1 Z 1	0.630 / 0.000
1 Z 2	0.236 / 0.000
1 Z 3	0.157 / 0.000
1 Z 4	0.323 / 0.644
1 Z 5	0.561 / 0.000
1 Z 6	0.000 / 0.000
1 Z 7	0.827 / 0.613
1 Z 8	0.561 / 0.000

図12 許容スパン法結果のモデル表示