

1 GeV リニアック検討資料

1 GeV LINAC DESIGN NOTE

題目 (TITLE) ACSの熱伝達解析(NO 1)

著者 (AUTHOR) 吉野一男

概要 (ABSTRACT)

ACSハイパワーモデルのrf壁面発熱(1KW/セル)による温度分布 - 変形を、2次元軸対称モデル及び3次元ソリッドモデルについて求めた。

解析条件は、冷却水入出温度25℃-28℃、流量5 L/min/セルで熱伝達解析(汚れ係数は考慮せず)を行ない、その変形量からsuperfishで周波数変化を求めた。

KEY WORDS:

Ion source, RFQ, DTL, CCL, Magnet, Monitor, Beam Dynamics,
Transport, Vacuum, Cooling
Klystron, Low level rf, High power rf, Modulator
Control, Operation, Radiation, Others

大型ハドロン計画加速空洞熱解析結果	高エネルギー物理学研究所 K E K	
ACS (ディスク冷却モデル) 温度分布・変形	吉野・影山	1990/02/20

大型ハドロン計画用 高 β 加速空洞(ACS型・ $\beta=0.8$)のRF壁面発熱による温度分布熱・変形をISASII(Integrated Structure Analysis System II)を使って2次元軸対称モデルとして解析した。

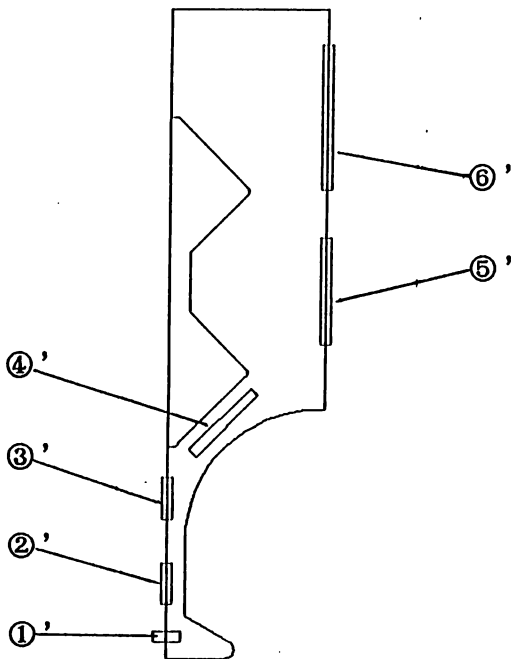
[1] 解析条件

- (1) 図1に示す冷却路を設定して、熱伝達係数 α を算出して解析した。
- (2) 銅の材質は OFC-CLASS1 として、その材料定数を下記に示した。

	ρ kg/m ³	λ W/mK	α /°C	E kg/m ²	ポアソン比 1/m
C u	8940	386	1.70×10^{-5}	1.2×10^{-4}	0.34

[2] 解析モデル

解析モデルは、5セルの ACS CAVITY を、Z軸を軸対称とする2次元モデルとしたので、カップリングスロット部と Vacuum Pipe 部分の熱伝導度 λ 、及びヤング率Eは、下記の条件とした。



	カップリングスロット部修正値
λ	257 W/mk
E	0.8×10^4 kg/m ²
	Vacuum Pipe 部修正値
λ	289.5 W/mk
E	0.9×10^4 kg/m ²

図1 2次元軸対称モデル

25° → 28°

ave = 26.5°

[3] ACS ディスク冷却モデルの熱伝達係数 α の計算

• 実際の水路 (図2) の場合

セル当り 5 [L/min] の流量だと仮定すると、
直径 $d = 4$ mm の水路 (図2の①) 4本が
カップリングスロット部の間を通過している
ので流量 q は 1.25 [L/min] となり、
その場合、流速 $V \approx 1.7$ m/s,

レイノルズ数 $Re \approx 7400$,

$\alpha \approx 7600$ [Kcal/m²h°C]

ディスク部の水路 (図2の②) は、

$q = 1.25 \times 2 = 2.5$ [L/min] で等価

直径 $d_e = 4 \times ((8 \times 3) / (16 + 6))$

≈ 4.36 [mm] 従って

$V \approx 2.8$ m/s, $Re \approx 13500$, $\alpha \approx 11000$ [Kcal/m²h°C]

図2の③の水路は、 $q = 1.25 \times 2 = 2.5$ [L/min] で等価直径 $d_e = 4 \times ((6 \times 4) / (12 + 8)) \approx 4.8$ [mm] 従って

$V \approx 2.3$ m/s, $Re \approx 12000$, $\alpha \approx 9600$ [Kcal/m²h°C]

図2の④の水路は、 $q = 1.25 \times 2 = 2.5$ [L/min] で等価直径 $d_e = 4 \times ((22 \times 4) / (44 + 8)) \approx 6.77$ [mm] 従って

$V \approx 1.2$ m/s, $Re \approx 8700$, $\alpha \approx 5100$ [Kcal/m²h°C]

• 解析モデル (図1) における換算熱伝達係数 α'

実際のモデルの $\alpha \times$ 水路接触面積 $S =$ 解析モデルの $\alpha' \times S'$ より

図1の①'の水路の場合

$$11000 \times 1600 \times 10^{-6} = \alpha' \times (16 + 6) \times 10^{-3} \times 2\pi (21.5 \times 10^{-3})$$

$$\therefore \alpha' \approx 6000 \text{ [Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C]}$$

図1の②'の水路の場合

$$11000 \times 10800 \times 10^{-6} = \alpha' \times (24 + 6) \times 10^{-3} \times 2\pi (39.5 \times 10^{-3})$$

$$\therefore \alpha' \approx 16000 \text{ [Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C]}$$

図1の③'の水路の場合

$$11000 \times 10600 \times 10^{-6} = \alpha' \times (24 + 6) \times 10^{-3} \times 2\pi (61.5 \times 10^{-3})$$

$$\therefore \alpha' \approx 10000 \text{ [Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C]}$$

図1の④'の水路の場合

$$32 \times 7600 \times \pi (4 \times 10^{-3}) \times 28 \times 10^{-3} = \alpha' \times (50 + 6) \times 10^{-3} \times 2\pi (83 \times 10^{-3})$$

$$\therefore \alpha' \approx 2900 \text{ [Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C]}$$

図1の⑤'の水路の場合

$$5100 \times 21800 \times 10^{-6} + 9600 \times 1800 = \alpha' \times (60 + 6) \times 10^{-3} \times 2\pi (120.5 \times 10^{-3})$$

$$\therefore \alpha' \approx 2500 \text{ [Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C]}$$

図1の⑥'の水路の場合

$$9600 \times 11500 \times 10^{-6} = \alpha' \times (82 + 6) \times 10^{-3} \times 2\pi (169.5 \times 10^{-3})$$

$$\therefore \alpha' \approx 1200 \text{ [Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C]}$$

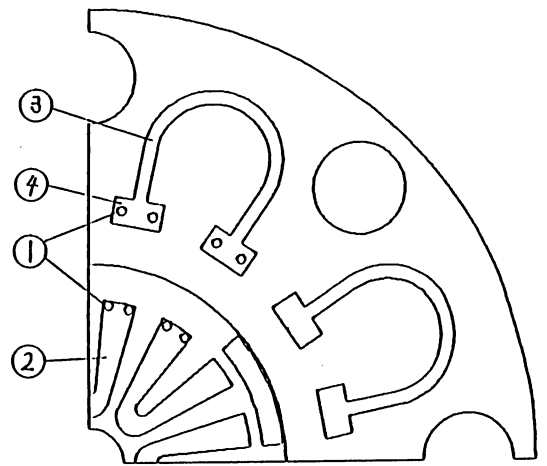
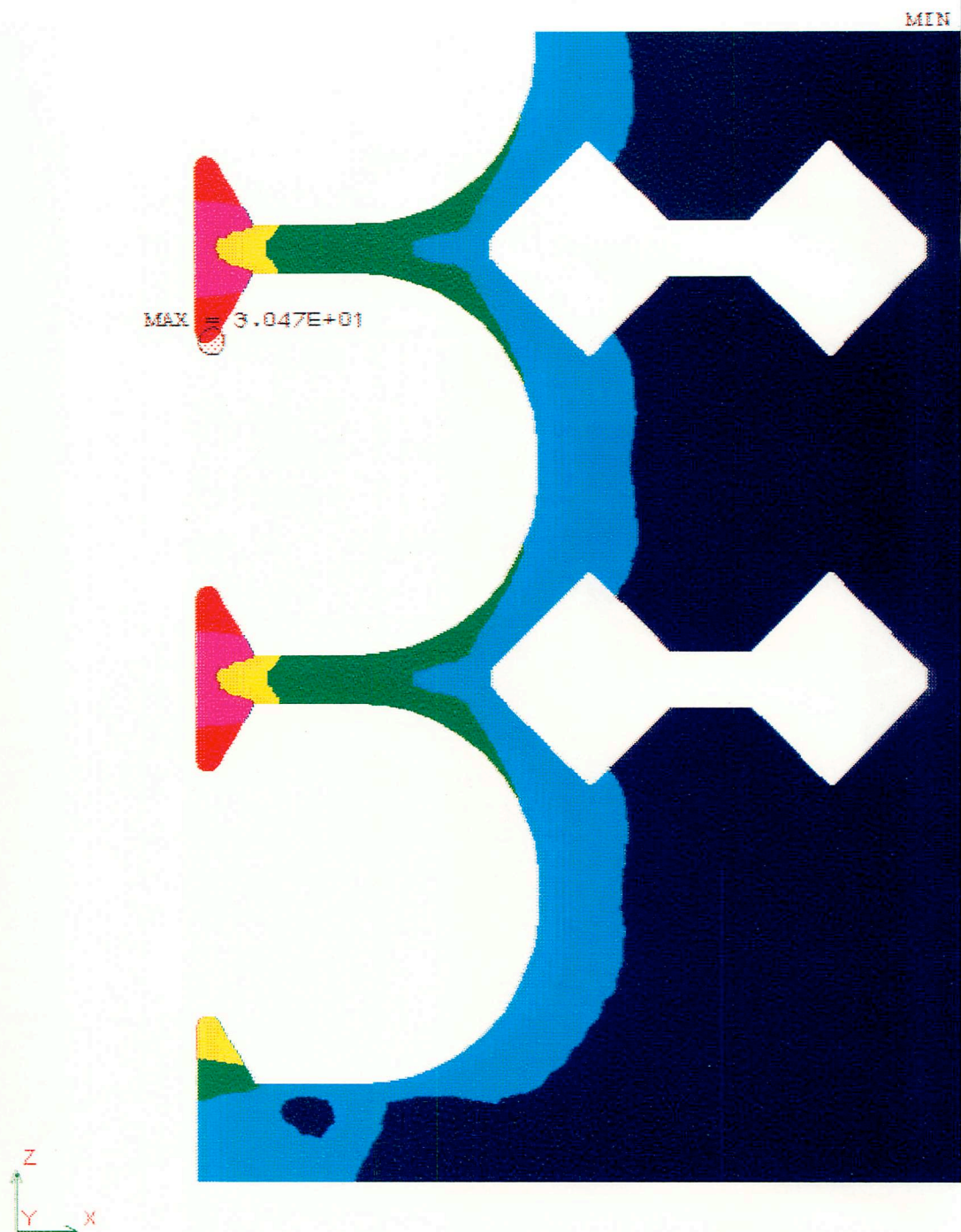


図2 実際の冷却水路

(等温度線図)



MAX = 3.047E+01

MIN = 2.725E+01

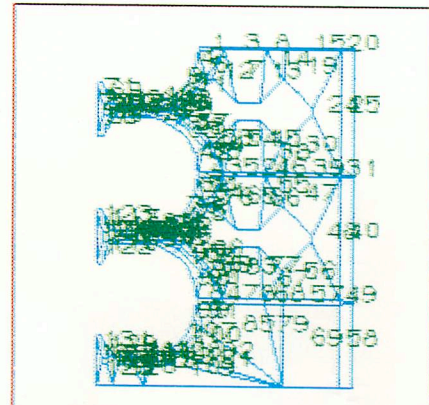
(熱伝導)

MAX = 3.047E+01
MIN = 2.725E+01

(X10¹)



ACS5CT3



表示タイプ1	線表示
2	塗りつぶし表示
レベル設定1	自動設定
2	手動設定
MIN・MAXモード1	非表示
2	表示

解析ケースNO. 1
表示 タイプ 2
レベル設定 1
レベル分割数 6
MIN・MAXモード 2

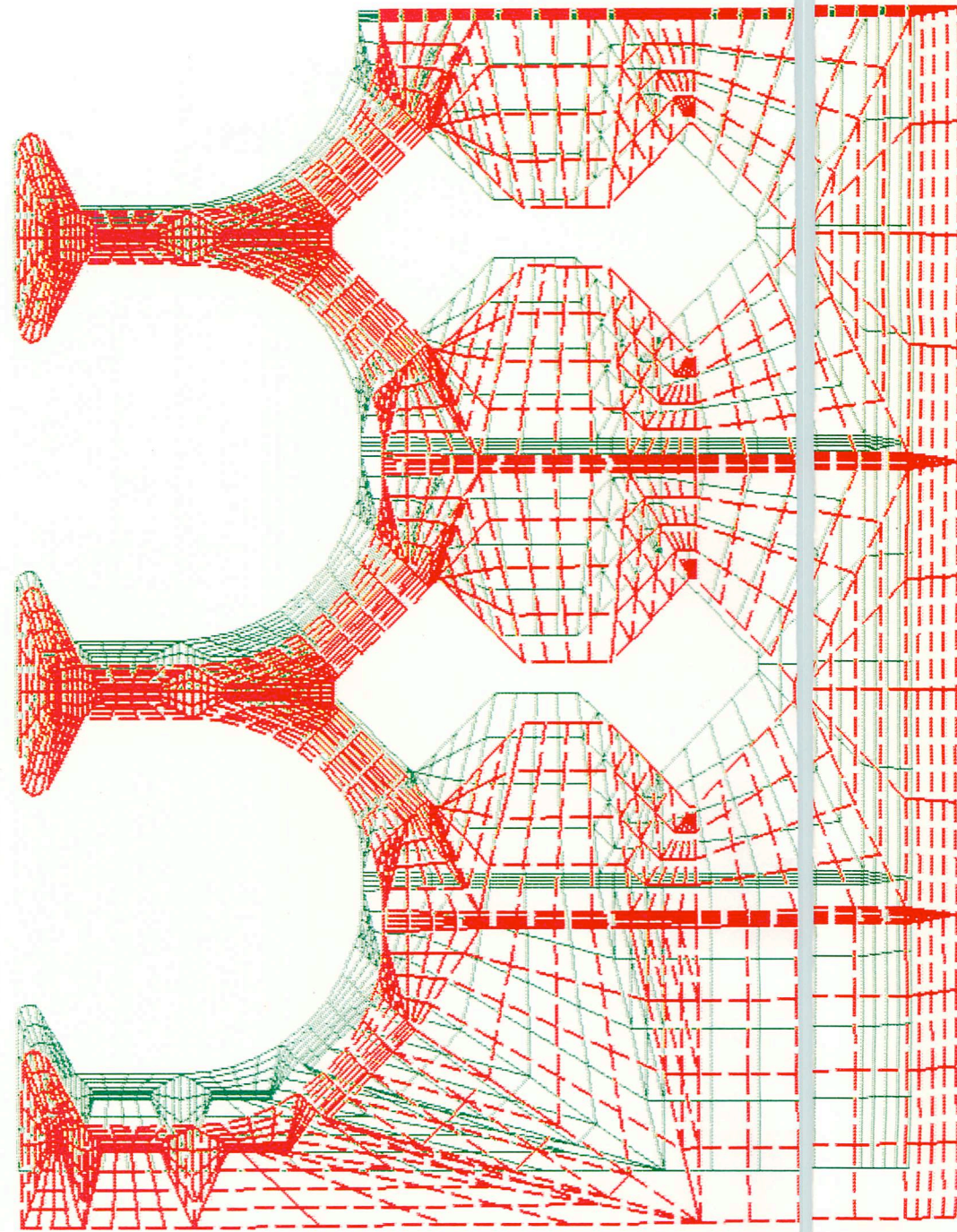
- 端末状態
- 1 2 3 4
- アイドル
- TSS
- 図形処理 2
- 点入力
- 距離
- アパチャ
- メニュー
- 座標点
- ストローク
- シンボル
- 画面操作
- 図面入力
- 端末入力
- キーロック
- 残ブロック
- 1 3 2
- 英数シフト
- 管面メニュー
- 1 2 3 4
- ピク
- ダイナピク
- ズームパン
- 直線ラバー
- 矩形ラバー
- 部分拡大

解析図 | アニメーション | 数値表示 | 表裏確認 | グラフ | 削除 | データ
E-C | E-P

データ. [数値]

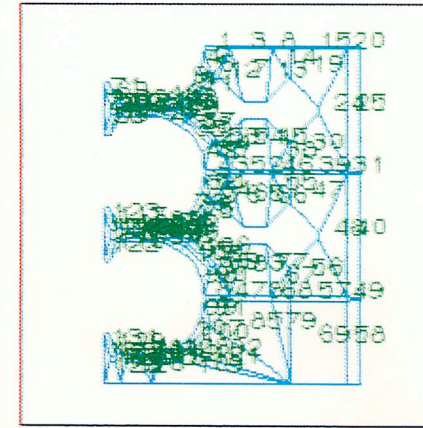
E *N


(変形図)






(静的)

ACS5CT3





 1.136E-02

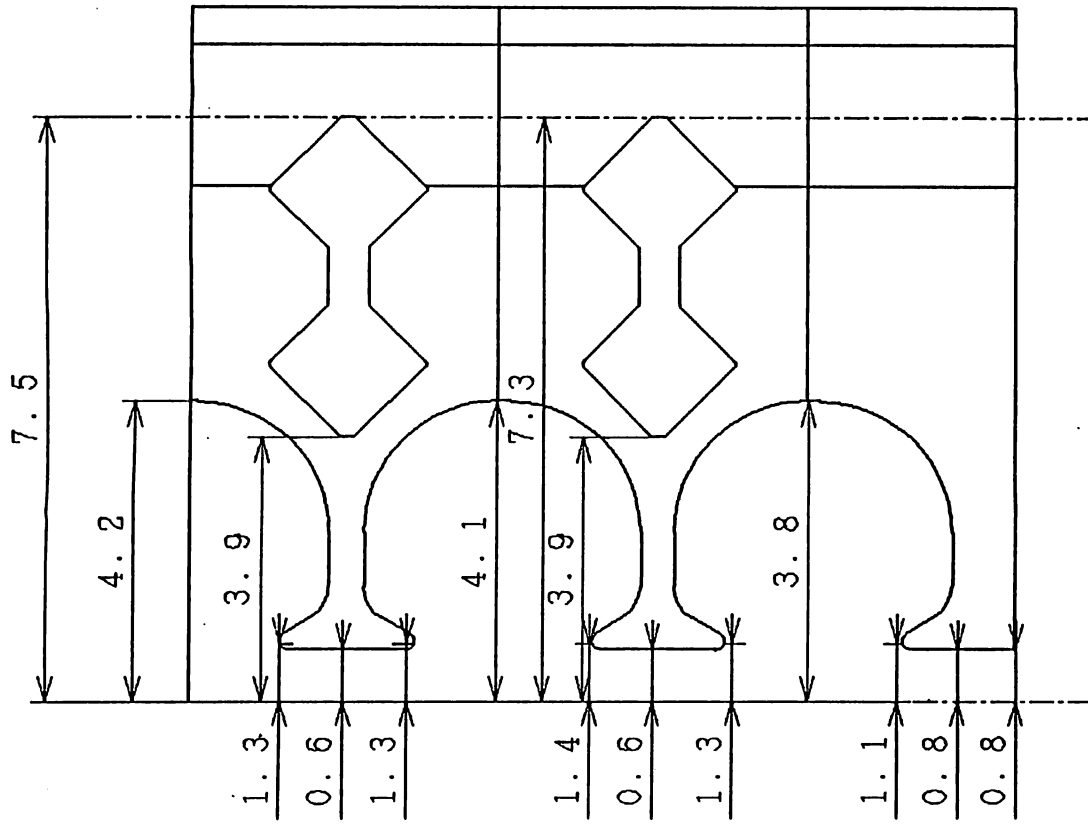
 元図
 変形図

解析ケースNO. 1

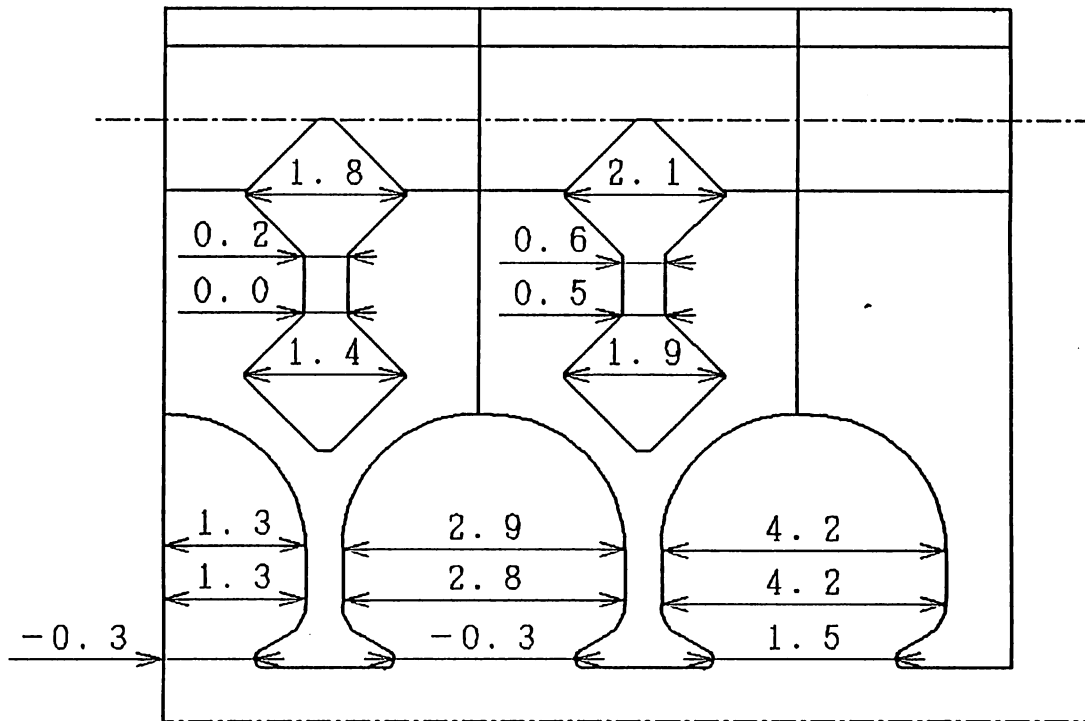
- 端末状態
- 1** 2 3 4
- アイドル
- TSS
- 図形処理2
- 点入力
- 距離
- アパチャ
- メニュー
- 座標点
- ストローク
- シンボル
- 画面操作
- 図面入力
- 端末入力
- キーロック
- 残ブロック
- 138
- 英数シフト
- 管面メニュー
- 1** 2 3 4
- ピク
- ダイナミック
- ズームパン
- 直線ラバー
- 矩形ラバー
- 部分拡大

ファイル検索 | 登録 | 解析ケース選択 | 重ね合せ | 標準値変更 | 3D実行 | 終了 | 削除 | 表示 | データ
 座標変換 | タイプ変更 | 表示 | 非表示 | カラー

X軸, Z軸
 =90



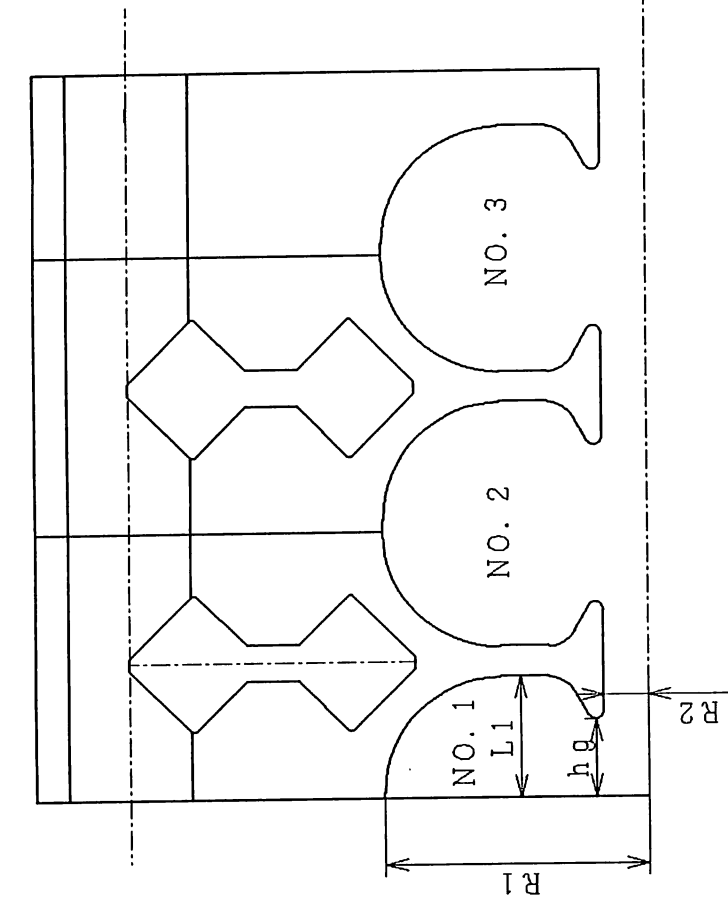
DX



DZ

変位量

[μm]



ACS加速セルの部分変形による周波数変化

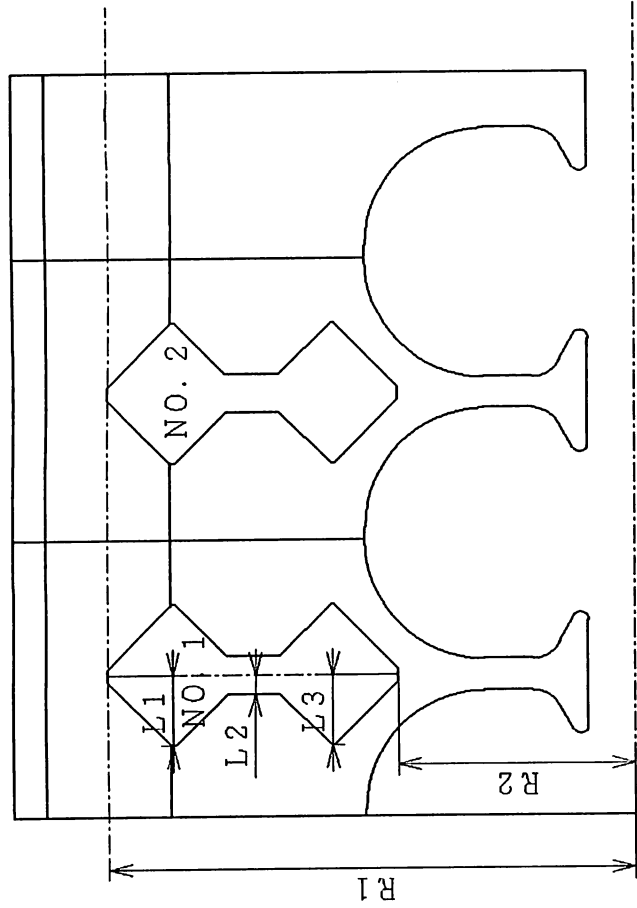
$f = f(R1, R2, L1, hg)$ とすると, SUPERFISHで計算した結果から

$$\begin{aligned} \therefore \Delta f &= \frac{\partial f}{\partial R1} \Delta R1 + \frac{\partial f}{\partial R2} \Delta R2 + \frac{\partial f}{\partial L1} \Delta L1 + \frac{\partial f}{\partial hg} \Delta hg \\ &= -14.12 \Delta R1 + 3.14 \Delta R2 - 14.6 \Delta L1 + 15.58 \Delta hg \end{aligned}$$

$$\Delta f_1 \approx -80 \quad [\text{kHz}]$$

$$\Delta f_2 \approx -80 \quad [\text{kHz}]$$

$$\Delta f_3 \approx -70 \quad [\text{kHz}]$$



ACS結合セルの部分変形による周波数変化

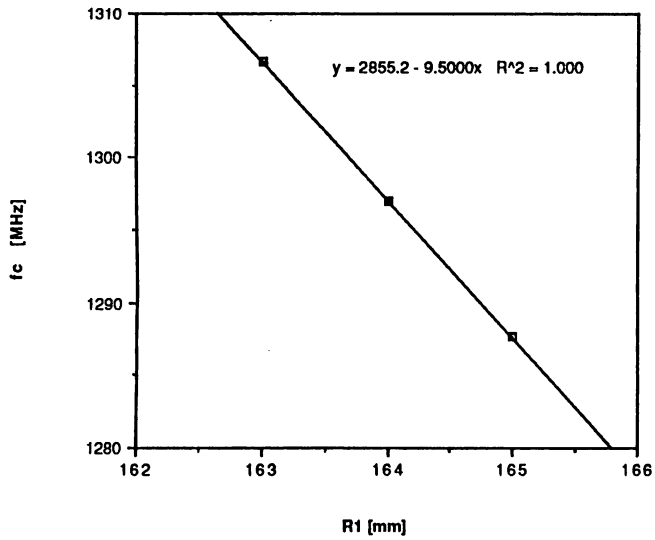
$f = f(R1, R2, L1, L2, L3)$ とすると, SUPERFISHで計算した結果から

$$\begin{aligned} \therefore \Delta f &= \frac{\partial f}{\partial R1} \Delta R1 + \frac{\partial f}{\partial R2} \Delta R2 + \frac{\partial f}{\partial L1} \Delta L1 + \frac{\partial f}{\partial L2} \Delta L2 + \frac{\partial f}{\partial L3} \Delta L3 \\ &= -9.5 \Delta R1 + 8.0 \Delta R2 - 12.6 \Delta L1 + 60.0 \Delta L2 - 9.3 \Delta L3 \end{aligned}$$

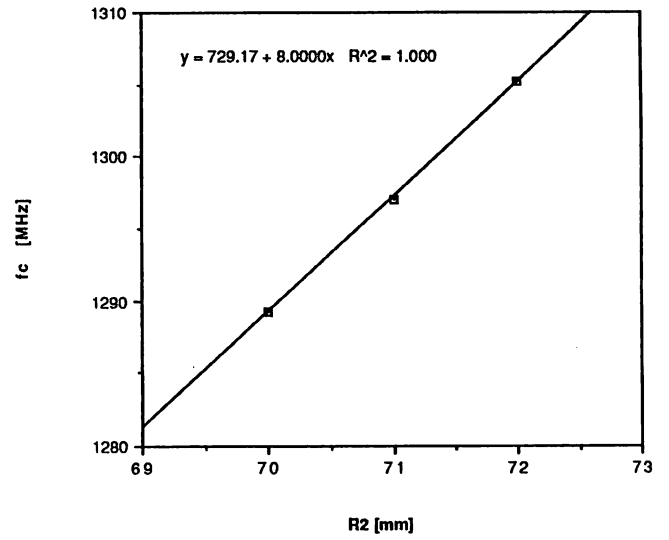
$$\Delta f_1 \approx -50 \quad [\text{kHz}]$$

$$\Delta f_2 \approx -40 \quad [\text{kHz}]$$

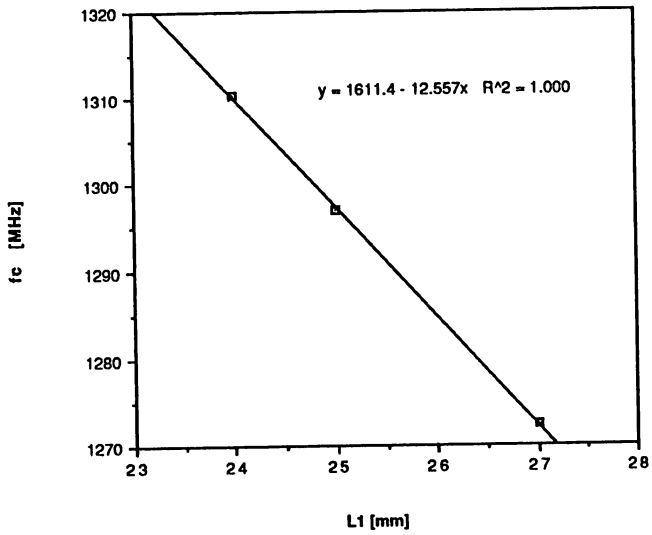
Data from "ACS(type-3) f vs.R1"



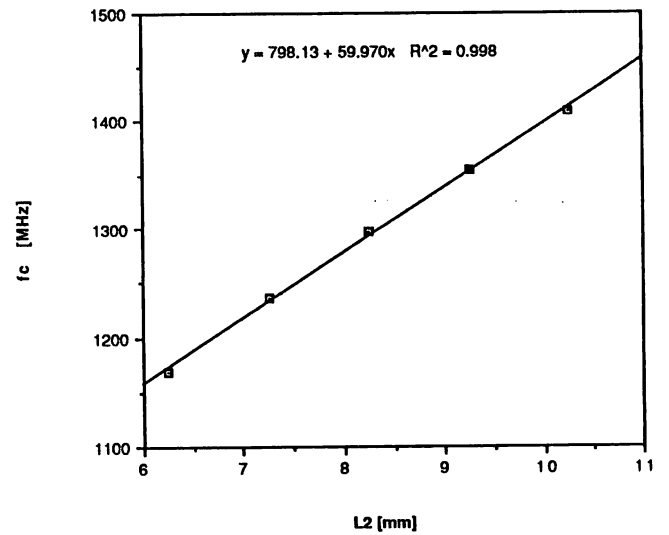
Data from "ACS(type-3) f vs.R2"



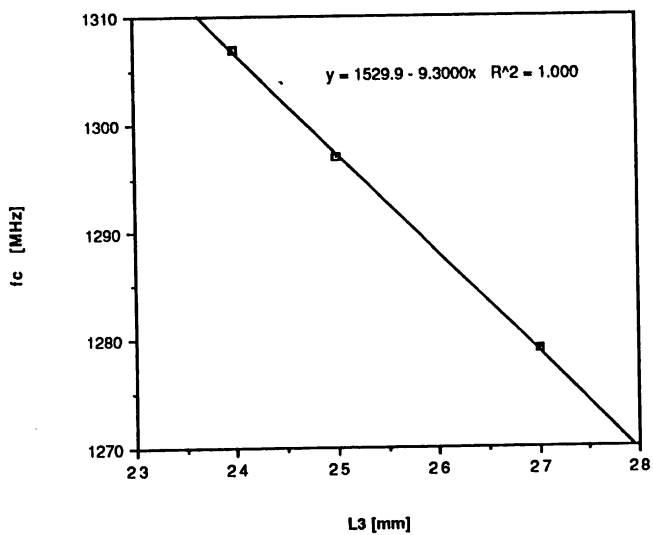
Data from "ACS(type-3) f vs.L1"



Data from "ACS(type-3) f vs.L2"

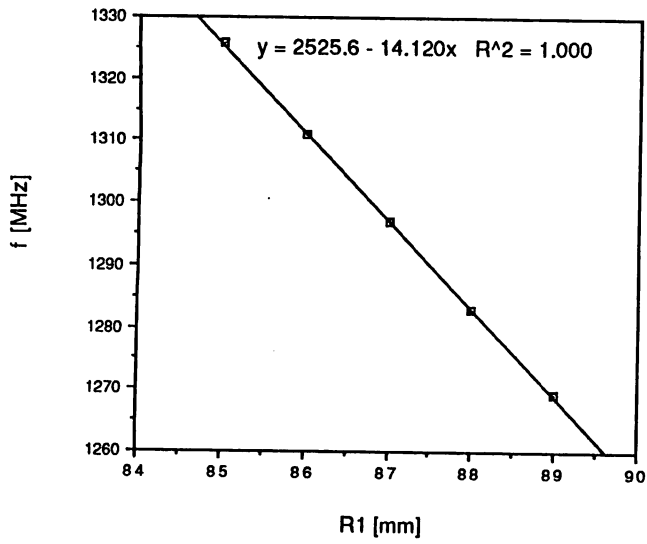


Data from "ACS(type-3) f vs.L3"

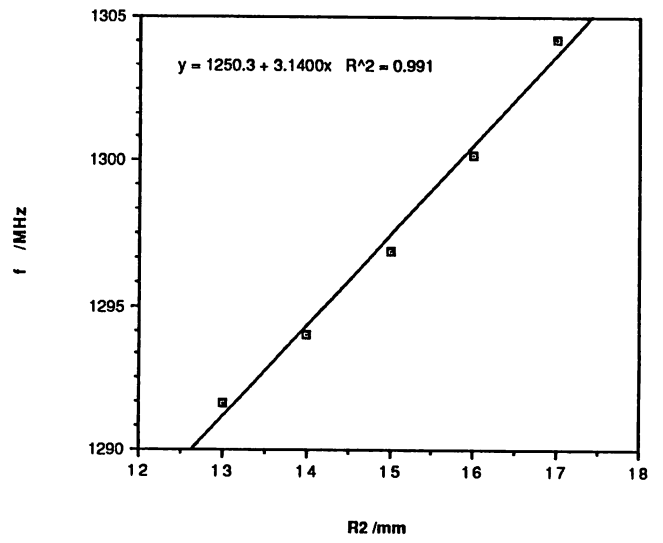


7

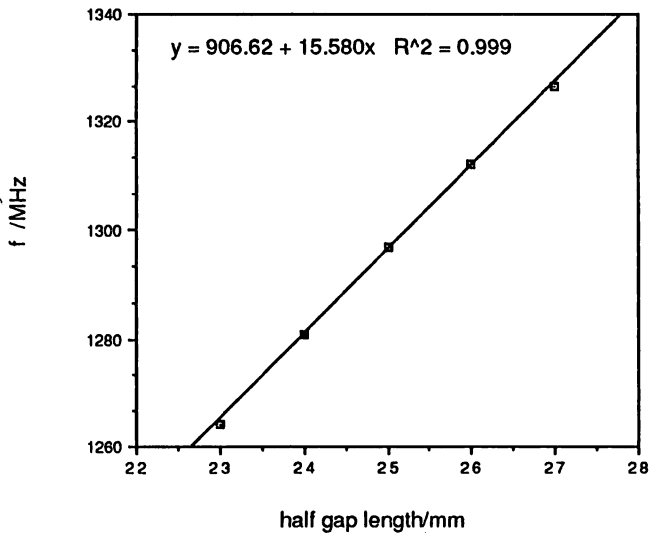
Data from "ACS(type-3) f vs R1"



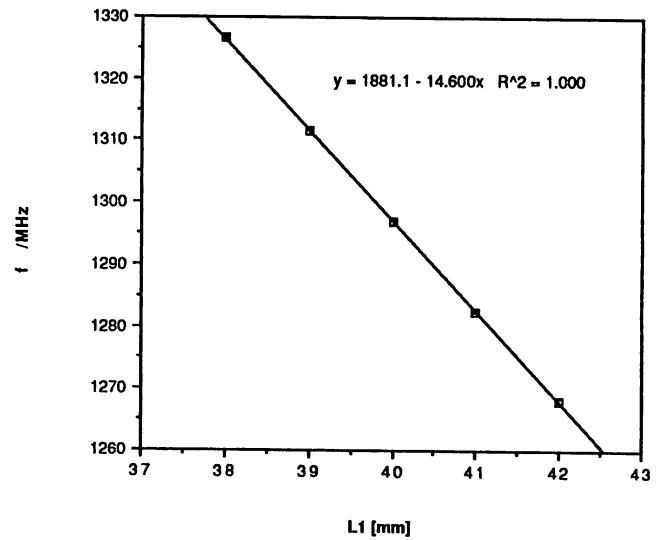
Data from "ACS(type-3) f vs.R2"



Data from "ACS(type-3) f vs.half gap"



Data from "ACS(type-3) f vs.L1"



大型ハドロン計画加速空洞熱解析結果	高エネルギー物理学研究所 K E K	
A C S (ディスク冷却モデル) 温度分布・変形	吉野・影山	1990/03/07

大型ハドロン計画用 高 β 加速空洞(ACS型・ $\beta=0.8$)のRF壁面発熱による温度分布変形をISASII(Integrated Structure Analysis System II)を使って3次元SOLIDモデルとして解析した。

[1] 解析条件

解析モデル(P2の図2)では、カップリングスロット側を通る冷却水路(4 ϕ)4本の形状は作らず、それに近似した熱伝達表面積を与えた。

熱伝達係数 α は、各部で計算値を入れるが、汚れ係数は考慮していない。

[2] 熱伝達係数 α の計算式

発達した流れの乱流熱伝達(壁温一定)

(i) Dittus-Boelterの実験式による場合

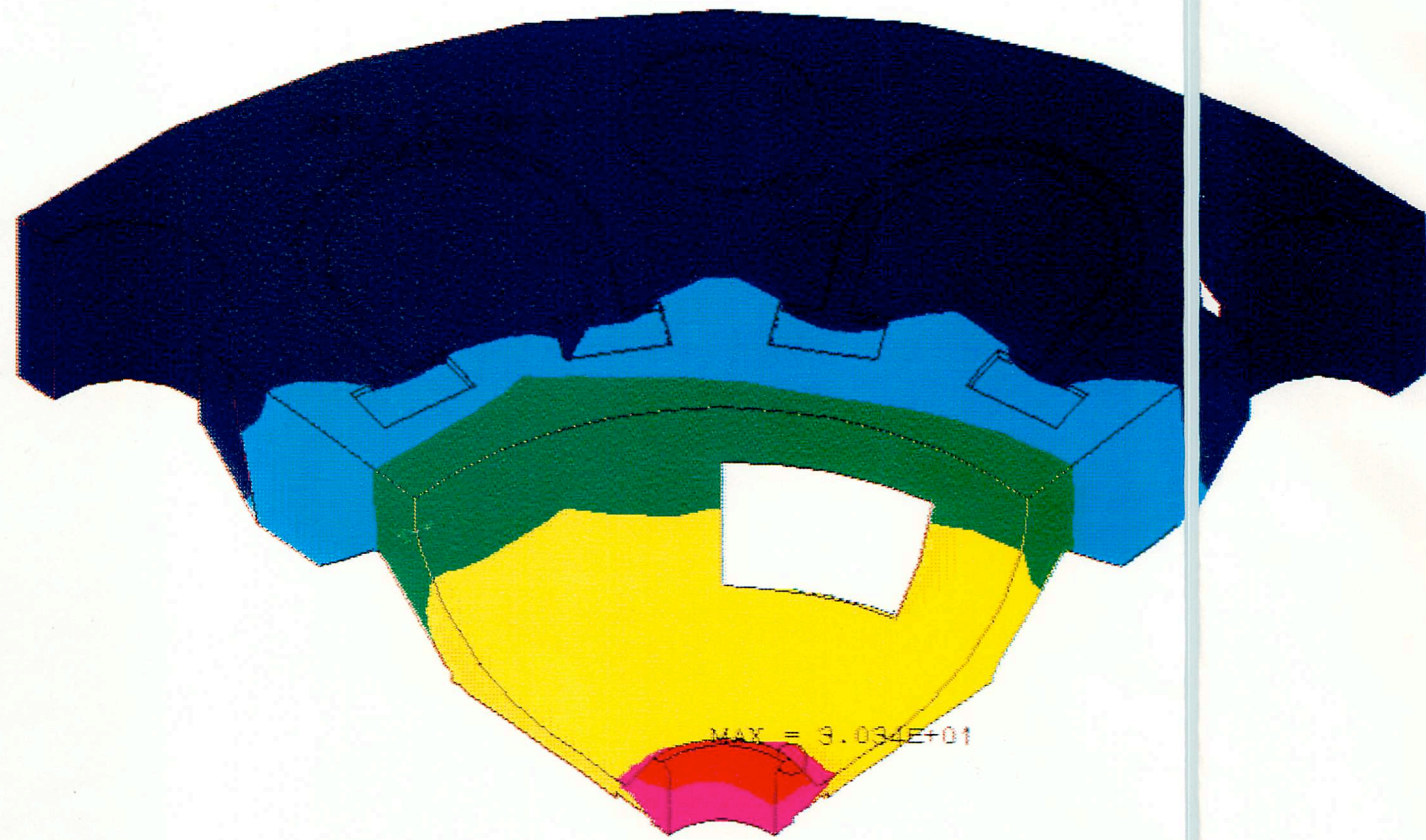
$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$$

水	μ Pa \cdot S	ν m ² /S	λ W/mK	Pr
物性値	0.8×10^{-3}	0.9×10^{-6}	0.612	5.93

• 冷却水量 5 L/min/ttl、冷却水入口温25℃/出口温28℃(平均水温26.5)

	1	2	3	4
流量 [L/min]	1.25/本	2.5	2.5	2.5
等価直径 [mm]	4.0	4.4	4.8	6.8
流速 [m/s]	1.7	2.8	2.3	1.2
熱伝達係数 [Kcal/m ² hr℃]	7600	11000	9600	5100

(等温度線図)



シテン イチ ノ ヘンコウ

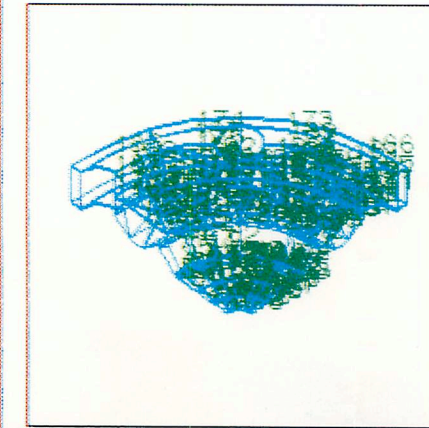
(熱伝導)

MAX = 3.034E+01
MIN = 2.719E+01

(X10¹)



ACS3DD4



表示タイプ1	全体形状
2	部分形状
レベル設定1	自動設定
2	手動設定
MIN・MAX指定1	非表示
2	表示

解析ケースNO. 1
 表示 タイプ 1
 レベル設定 1
 レベル分割数 6
 MIN・MAX指定 1

表示

端末状態

1 2 3 4

アイドル

TSS

図形処理2

点入力

距離

アパチャ

メニュー

座標点

ストローク

シンボル

画面操作

図面入力

端末入力

キーロック

残ブロック

1 4 1

英数シフト

管面メニュー

1 2 3 4

ピク

ダイナミック

ズームパン

直線ラバー

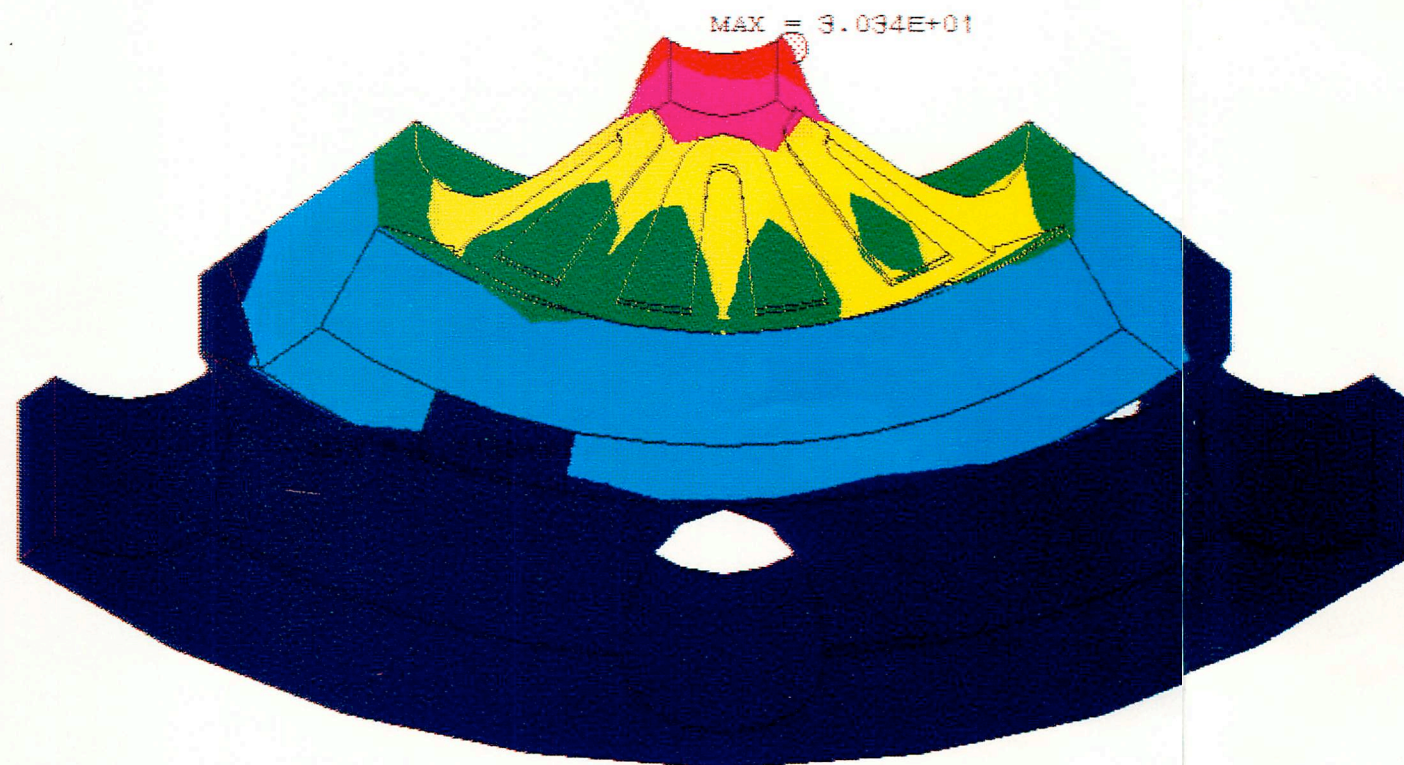
矩形ラバー

部分拡大

THETA1 (-999:サクカ' シテイ ニ モト'ル / * : シュウリヨウ) THETA2.

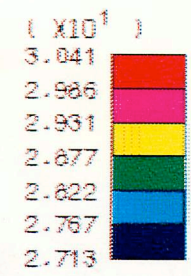
C *

(等温度線図)

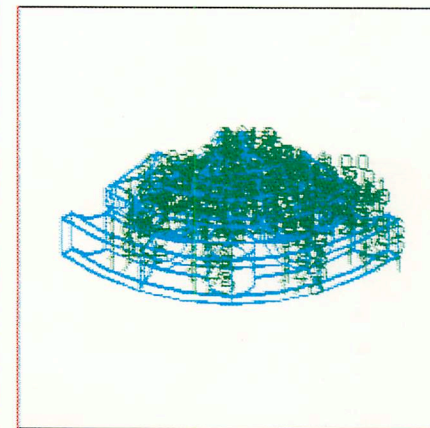


(熱伝導)

MAX = 3.034E+01
MIN = 2.719E+01



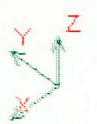
ACS3DD4



表示タイプ1	全体形状
2	部分形状
レベル設定1	自動設定
2	手動設定
MIN・MAX指定1	非表示
2	表示

解析ケースNO. 1
 表示 タイプ 1
 レベル設定 1
 レベル分割数 6
 MIN・MAX指定 1

表示

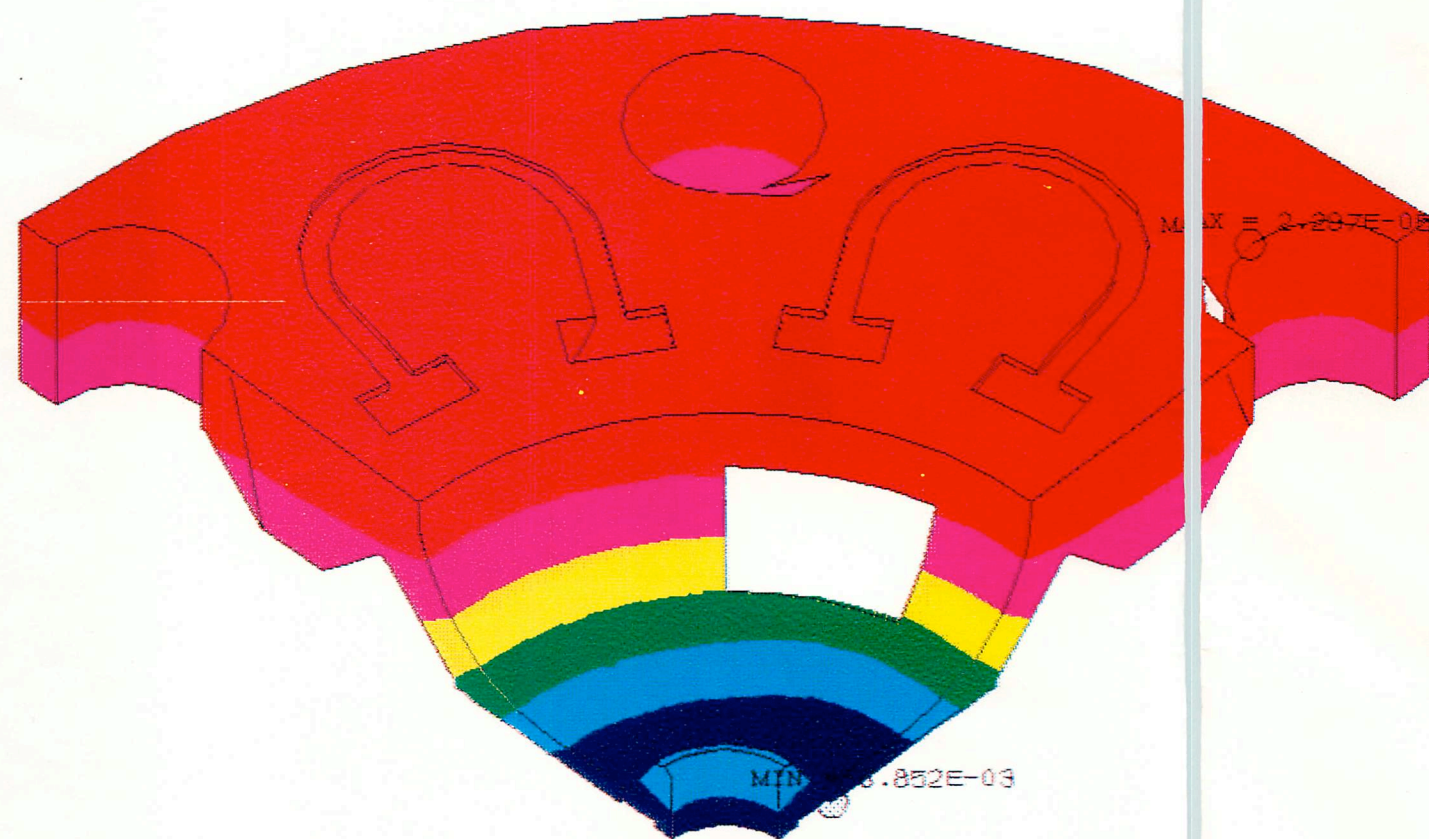


シテン イチ ノ ハンコウ

THETA1 (-999:サクカ' シテイ ニ モド' ル /*:シュウリョウ) THETA2. C*

- 端末状態
- 1 2 3 4
- アイドル
- TSS
- 図形処理 2
- 点入力
- 距離
- アパチャ
- メニュー
- 座標点
- ストローク
- シンボル
- 画面操作
- 図面入力
- 端末入力
- キーロック
- 残ブロック
- 1 0 7
- 英数シフト
- 管面メニュー
- 1 2 3 4
- ピク
- ダイナミック
- ズームパン
- 直線ラバー
- 矩形ラバー
- 部分拡大

(等高線図 (等変位線図))



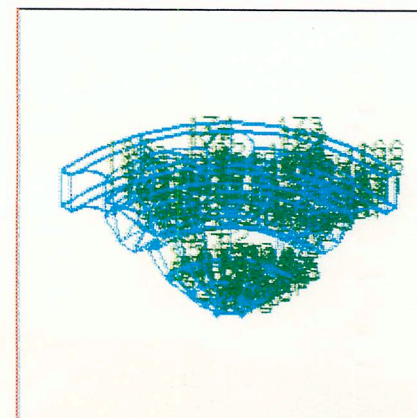
(静的)

MAX = 2.297E-02
MIN = -6.852E-03

(X10⁻³)



ACS3DD4



表示タイプ1	変形前 (全体)
2	変形後 (全体)
3	変形前 (部分)
4	変形後 (部分)
レベル設定1	自動設定
2	手動設定
MIN・MAX指定1	非表示
2	表示

解析ケースNO. 1
表示 タイプ 1
成分 DZ
レベル設定 1
レベル分割数 6
MIN・MAX指定 1

表示



DX	MEAN.PS
DY	MIN.PS
DZ	PRES.STRESS
DR	OCT.STRESS
MAJ.PS	

端末状態

1 2 3 4

アイドル

TSS

図形処理 2

点入力

距離

アパチャ

メニュー

座標点

ストローク

シンボル

画面操作

図面入力

端末入力

キーロック

残ブロック

1 2 9

英数シフト

管面メニュー

1 2 3 4

ピク

ダイナミック

ズームパン

直線ラバー

矩形ラバー

部分拡大

シテン イチ ノ ハンコウ

THETA1 (-999 : サクカ' シテイ ニ モデル / * : シュウリョウ) THETA2.

C *

(等高線図 (等変位線図))



(静的)
 MAX = 9.164E-03
 MIN = 3.859E-03

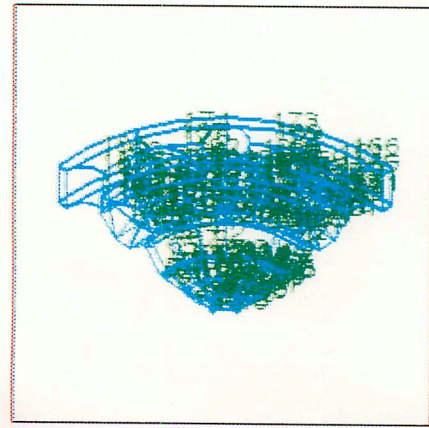
(X10⁻³)
 9.270
 8.350
 7.431
 6.511
 5.592
 4.672
 3.753

MAX = 9.050E-03



シテン イチ ノ ハンコウ

ACS3DD4



表示タイプ1	変形前 (全体)
2	変形後 (全体)
3	変形前 (部分)
4	変形後 (部分)
レベル設定1	自動設定
2	手動設定
MIN・MAX指定1	非表示
2	表示

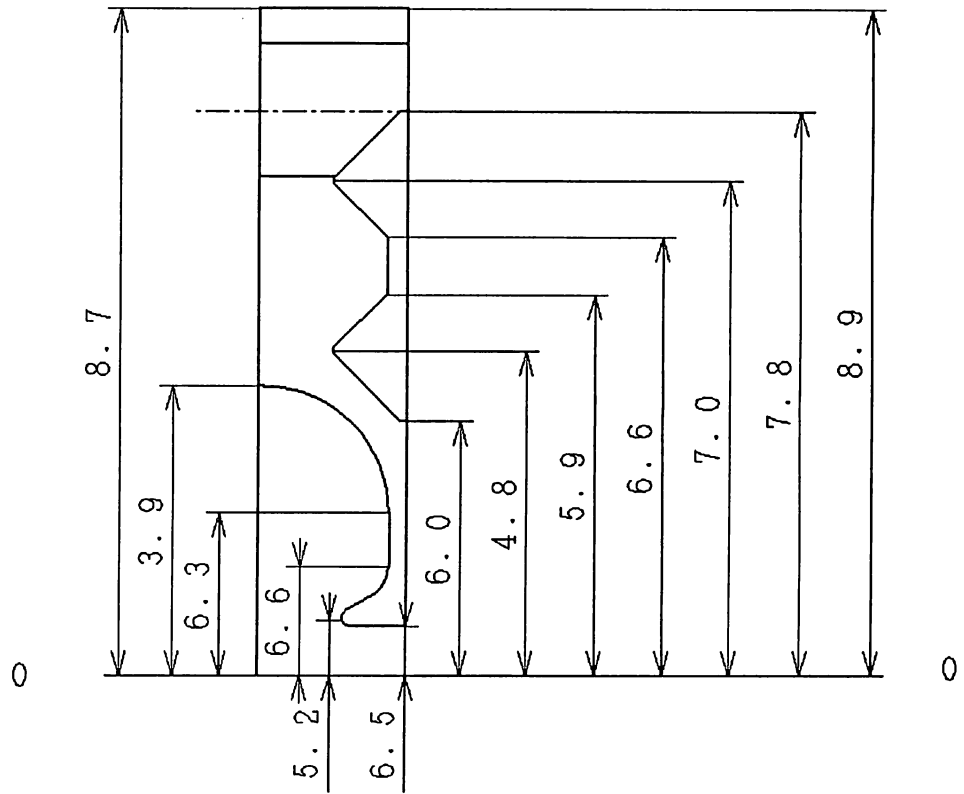
解析ケースNO. 1
 表示 タイプ 1
 成分 DR
 レベル設定 1
 レベル分割数 6
 MIN・MAX指定 1

表示

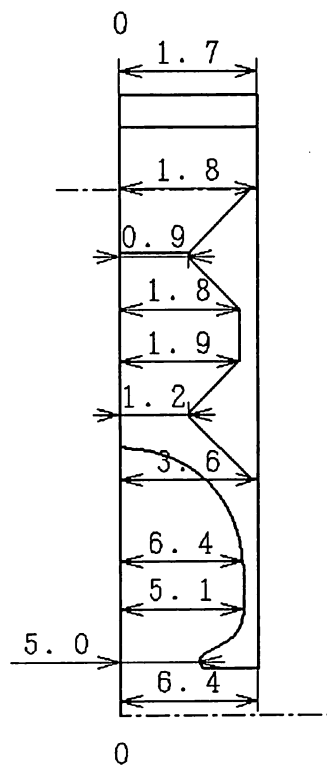
DX	MEAN.PS
DY	MIN.PS
DZ	PRES.STRESS

- 端末状態
- 1 2 3 4
- アイドル
- TSS
- 図形処理 2
- 点入力
- 距離
- アパチャ
- メニュー
- 座標点
- ストローク
- シンボル
- 画面操作
- 図面入力
- 端末入力
- キーロック
- 残ブロック
- 1 1 1
- 英数シフト
- 管面メニュー
- 1 2 3 4
- ピク
- ダイナミック
- ズームパン
- 直線ラバー
- 矩形ラバー
- 部分拡大

THETA1 (-999:サクガ' シテイ ニ モド'ル / * シュウリョウ) THETA2. C *



変位量 (DR)



変位量 (DZ)

[μm]