プラント設計における
PHOENICSの活用

日曹エンジニアリング(株)
エンジニアリング部 設計グループ
渡辺 茉宇

NISSO ENGINEERING CO.,LTD.

日曹エンジニアリング(株)について

設　　立　：　昭和 37年 10月 10日
事業内容　：　プラント(工場)の設計・施工
　　電気、土木、機器・配管の設計など
主な顧客　：

食品

医薬品

半導体

化学

PHOENICSを使う目的

- **受注のため**

→見積の補助ツールとして流動解析を行い、
より多くの受注を得る。

- **新たな技術のため**

→今まで不明瞭だった事象を明らかにすることで、
技術力を深める。

- **より良い設計のため**

→簡単には実験できない流れ場を解析し、
コストダウン、最適設計を実現。

本日はこちらの事例、2例を紹介。

[事例1] 硬化炉内の流体解析

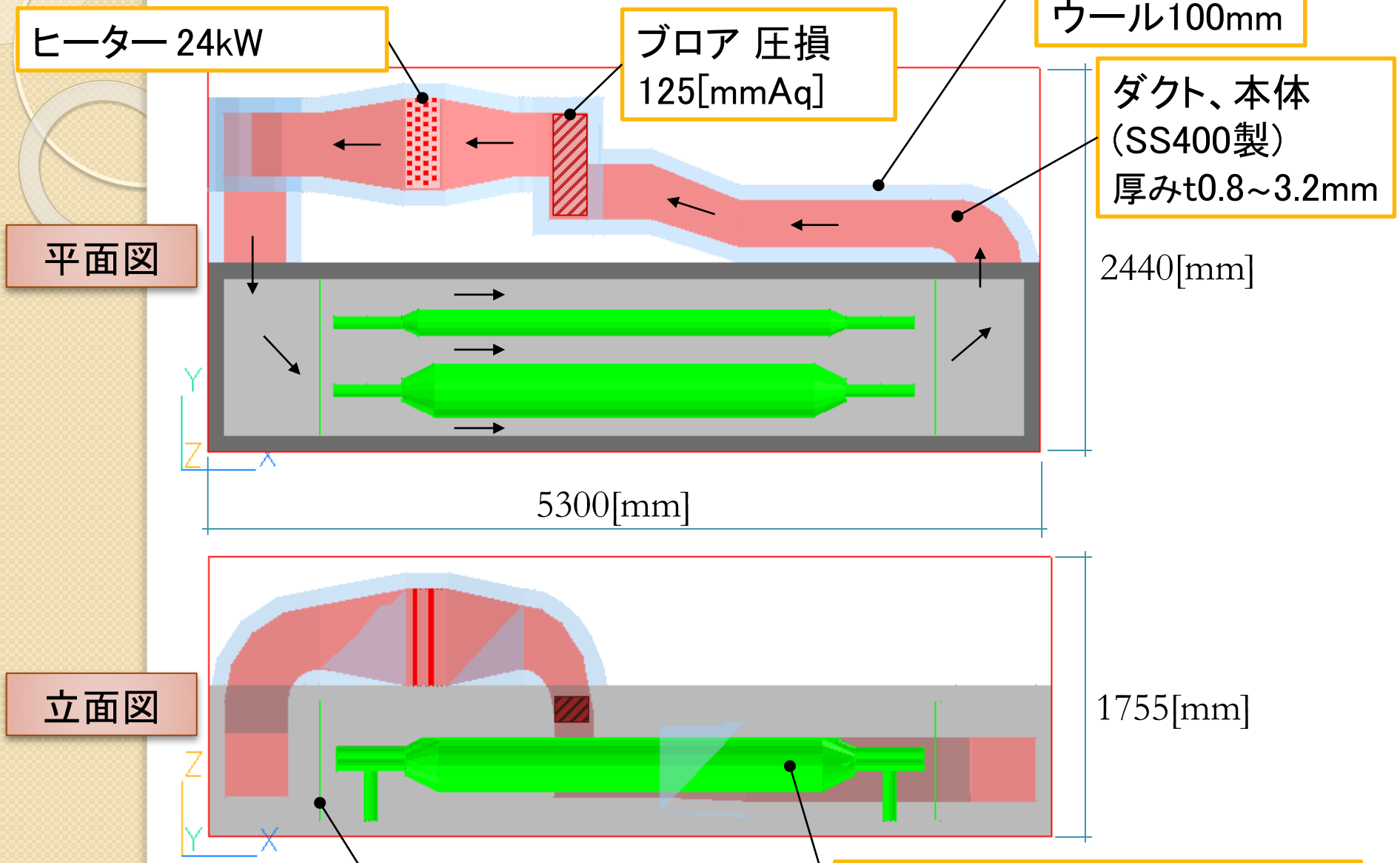
解析の背景

某社の工場内にある硬化炉を、
大きさを変更して新設することになりました。
そこで、硬化炉内のブロア（送風機）を最低動力にするため、所定の温度まで上昇するのにかかる時間を、解析により求めることになりました。

ブロアの動力が小さくできれば、工場全体のコストダウンとなります。

※炉内が200℃まで上昇するのに
どれくらいの時間を要するか、という解析です。

[事例1]硬化炉−モデル


ヒーター 24kW
ブロア 圧損
125[mmAq]
保温　グラス
ウール100mm
ダクト、本体
（SS400製）
厚みt0.8~3.2mm
平面図
2440[mm]
5300[mm]
立面図
1755[mm]
金網＋多孔板
（空隙率0.2の多孔板として設定）
被加熱体
（FRP;繊維強化プラスチック）

[事例1]解析条件①

- **空気：状態方程式を使用**
  ガス定数＝8.314*1000*29
  密度＝圧力(Pa abs)/(ガス定数*(温度[K]))
  動粘度＝4.58394E-08*(温度[K])+8.0974E-11*(温度[K])^2-4.94679E-06)
  熱伝導率＝0.0263
  定圧比熱 ＝1004
  体積膨張率＝0.00333

	20℃の空気	
密度	1.189	kg/m3
動粘度	0.00001544	m2/s

風量[m3/min]	風量[m3/s]	inlet面積[m2]	流速[m/s]	代表長さ[m]	Re
80	1.333	0.16875	7.90	0.25	127934.5
40	0.667	0.16875	3.95	0.25	63967.25
5	0.083	0.16875	0.494	0.25	7995.906

- **FRP（被加熱体）の物性**

密度[kg/m3]	1620
定圧比熱[J/kg･K]	1.04650676
熱伝導率[W/m･K]	0.26
熱膨張係数[1/K]	0.00023

・解析モデル：乱流k－ε モデル
・総メッシュ数：約100万

[事例1]解析条件②

※解析上、本体・ダクト(SS400)部と保温(グラスウール)部を同一の物体としてみなすため、以下のように物性を設定しました。

- **ダクト・本体(SS400)部、グラスウール部の見かけの合成熱伝導率**

$$\lambda_{全体} = L_{全体} / \left(\frac{L_{CS}}{\lambda_{CS}} + \frac{L_{GW}}{\lambda_{GW}} \right)$$

厚み[m]	ダクト・本体部	LCS	0.004 ←ダクト、本体の板厚はt0.8～3.2なので、t4として計算
	グラスウール部	LGW	0.1
	合計	L全体	0.104
熱伝導率[W/m・K]	ダクト・本体部	λCS	80.3
	グラスウール部	λGW	0.049
	合計	λ全体	0.05096

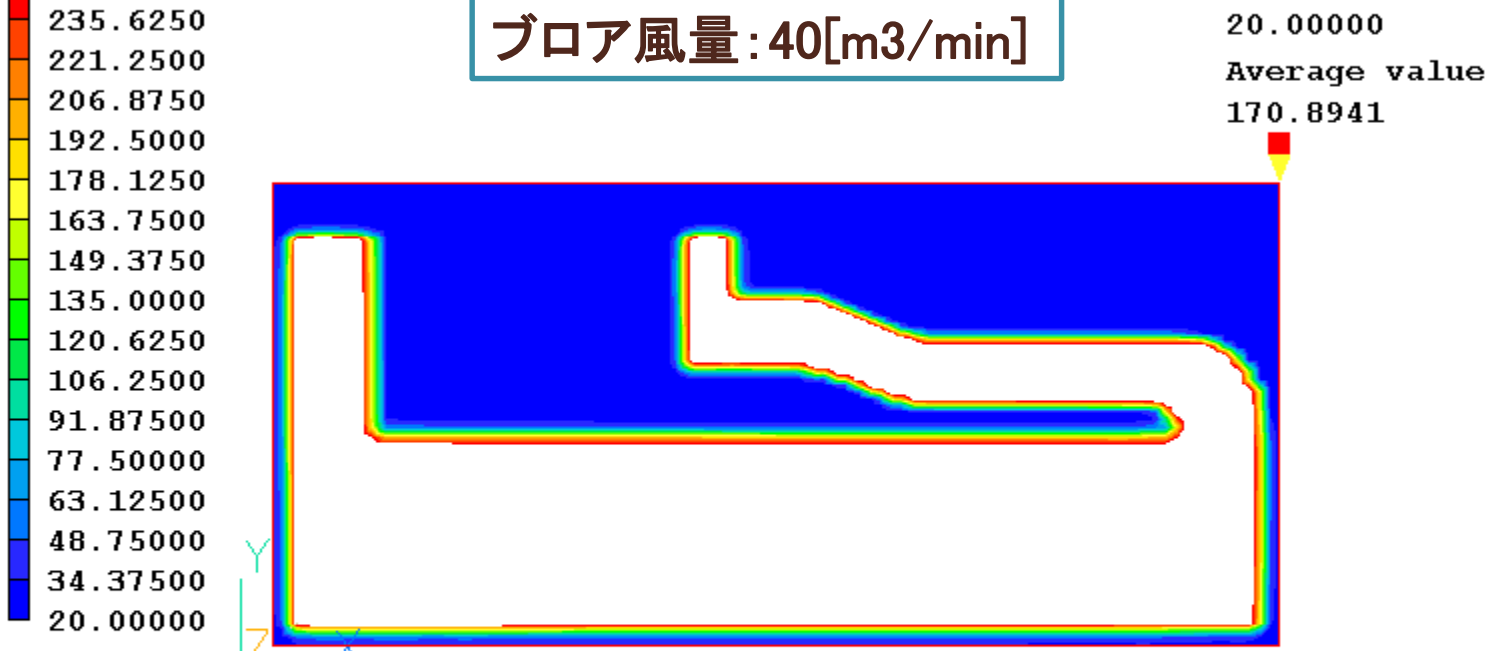
- **ダクト・本体(SS400)部、グラスウール部のその他物性**

密度[kg/m3]	24
定圧比熱[J/kg・K]	870
熱膨張係数[1/K]	0.000119

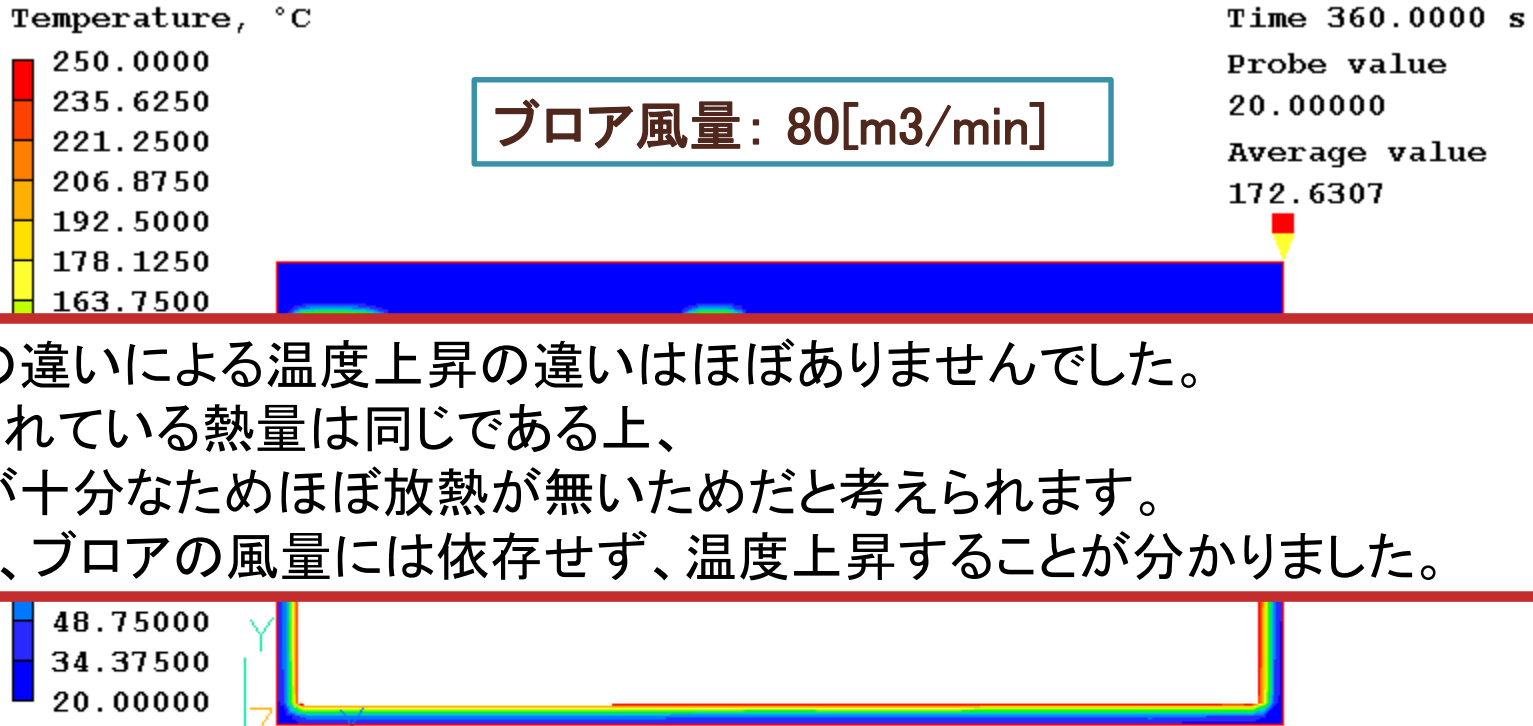
[事例1] 結果①

※Z=390[mm]

ブロア風量：40[m3/min]



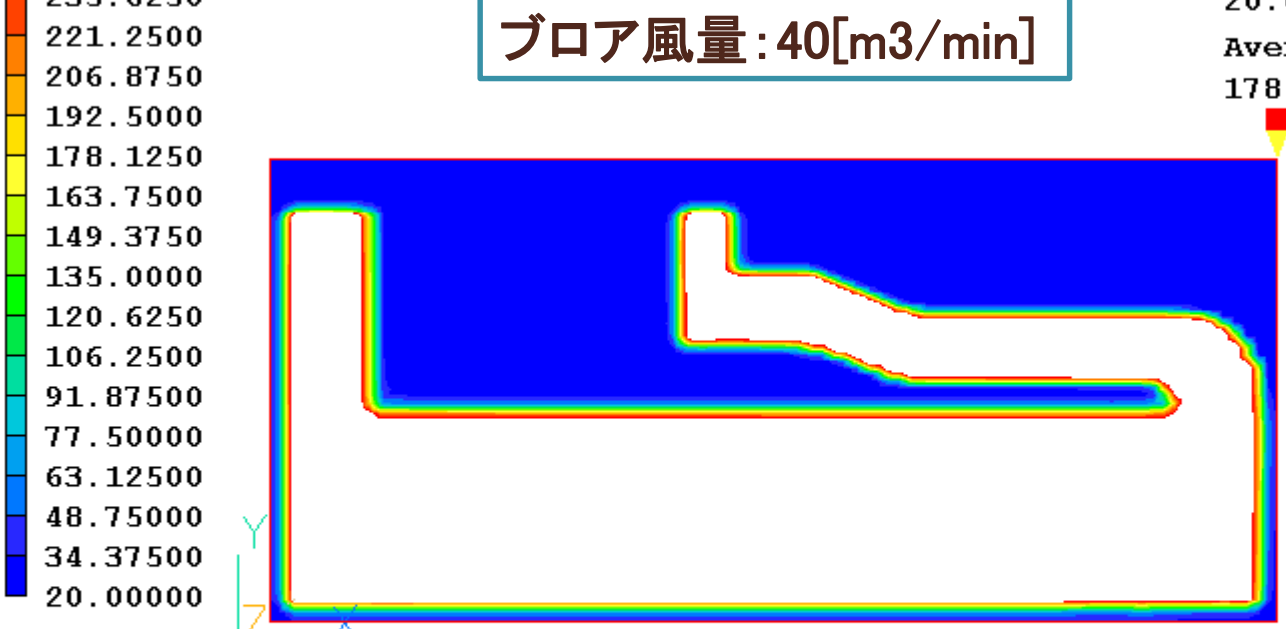
ブロア風量：80[m3/min]

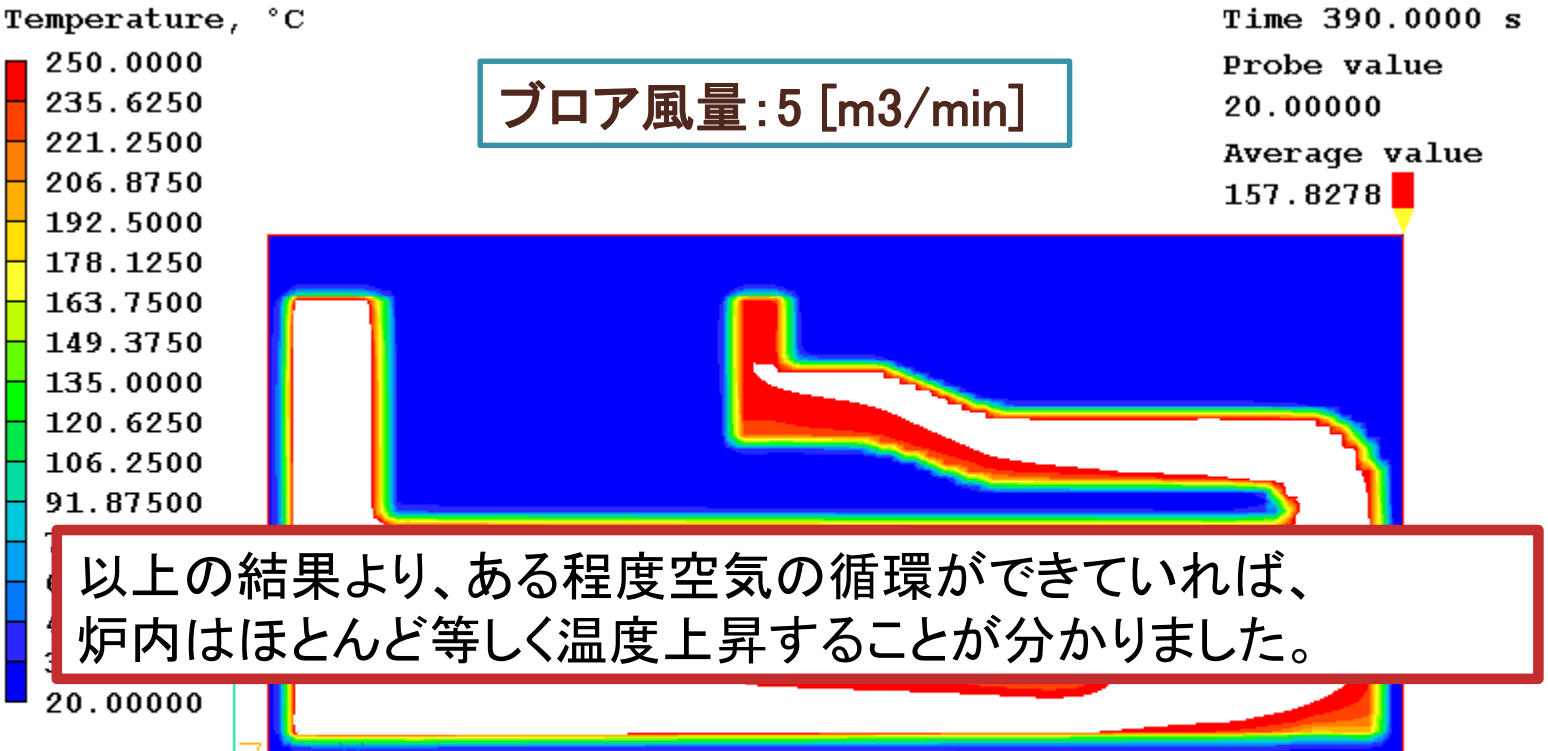


風量の違いによる温度上昇の違いはほぼありませんでした。
与えられている熱量は同じである上、
保温が十分なためほぼ放熱が無いためだと考えられます。
よって、ブロアの風量には依存せず、温度上昇することが分かりました。

[事例1] 結果②

※Z=390[mm]





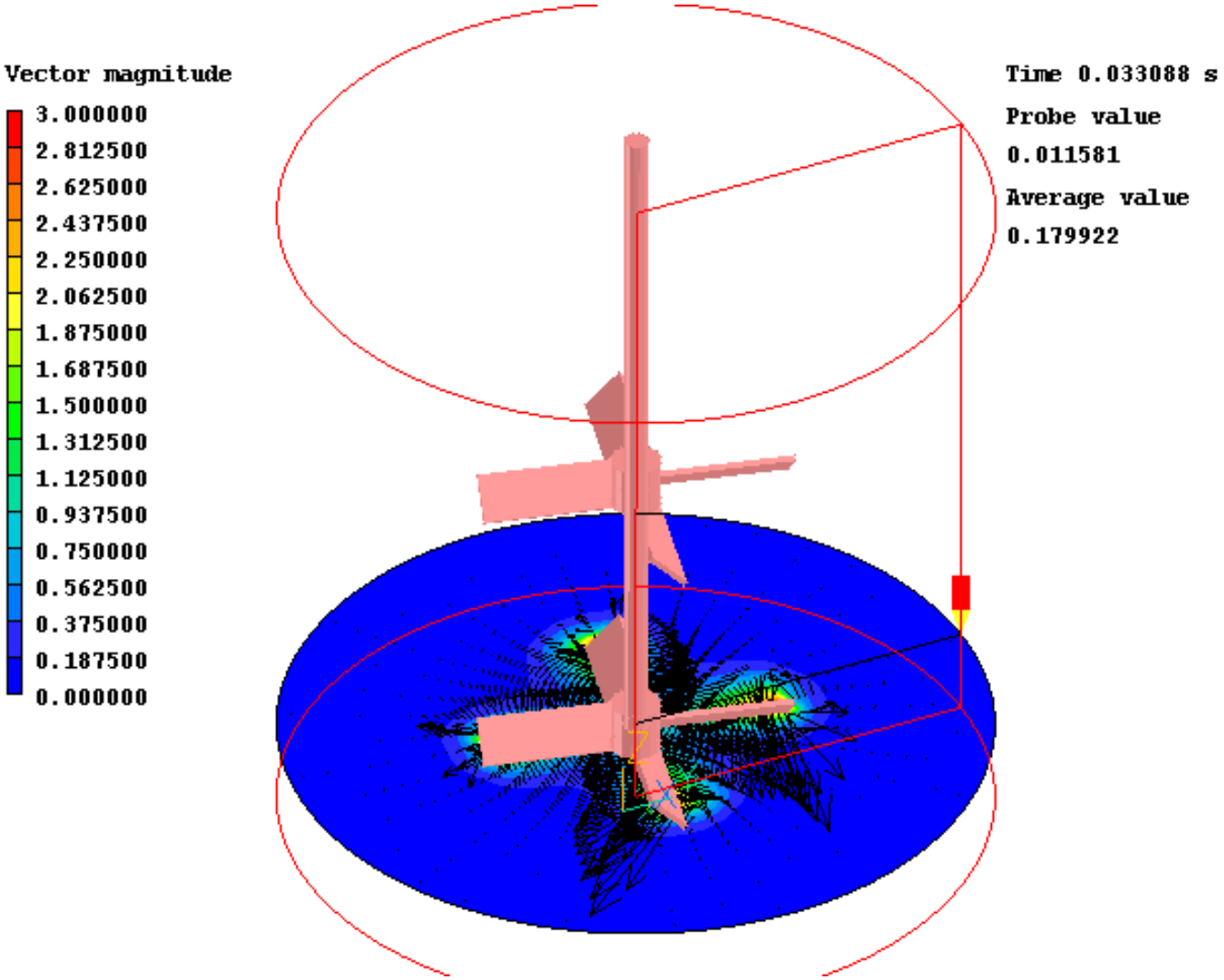
以上の結果より、ある程度空気の循環ができていれば、
炉内はほとんど等しく温度上昇することが分かりました。

[事例2]撹拌槽の解析

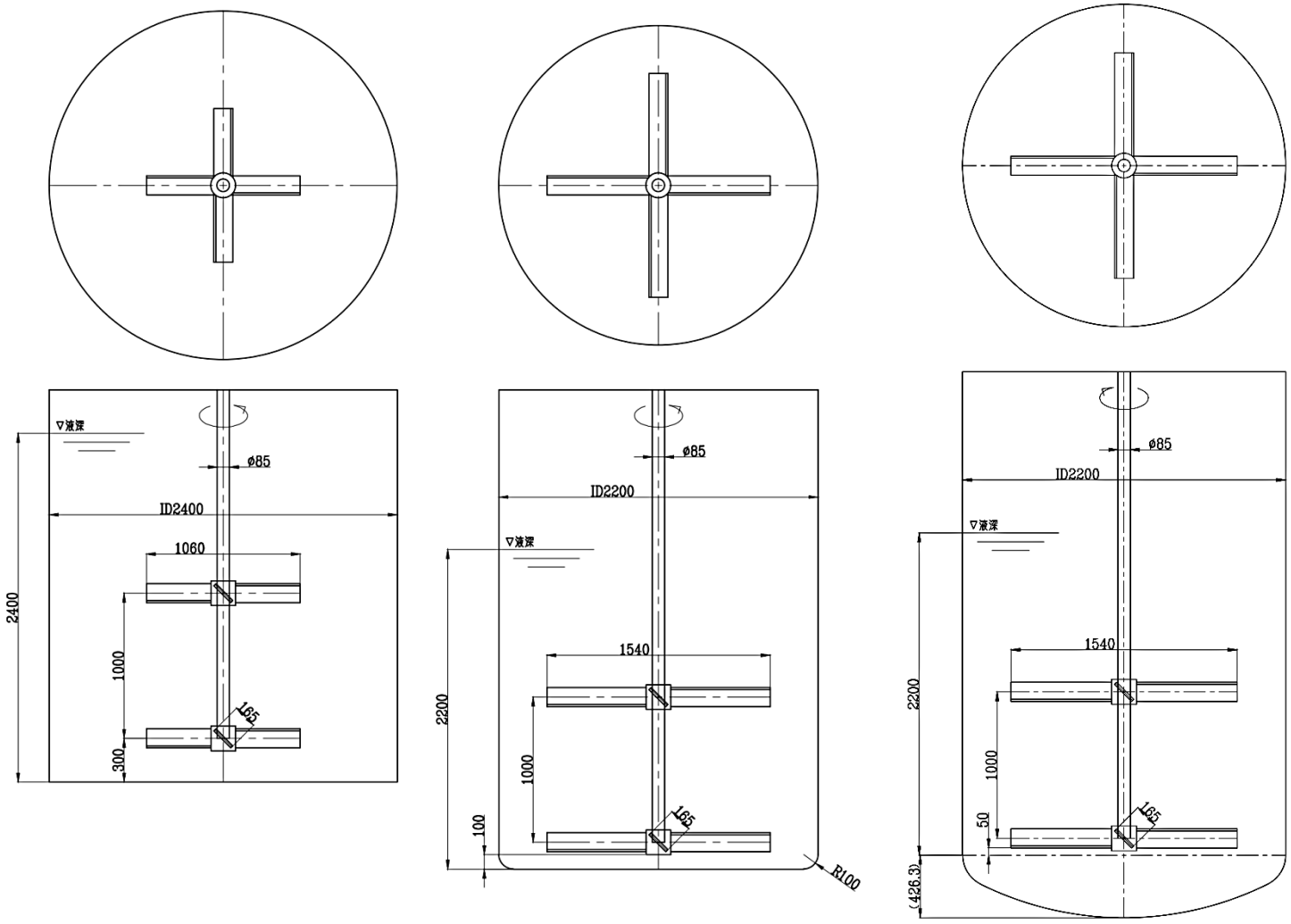
- 解析の背景

現在客先で使用中の撹拌槽では、撹拌能力が十分では無いため、
結晶が槽内面に付着してしまい、定期的にかき出す必要があるそうです。
新規に製作する撹拌槽では、十分な撹拌能力を持つ撹拌槽としたいため、
客先で仕様を検討し、NSEとしてはそれを基により良い提案をしたいと考え、
解析を実施しました。

[事例2]撹拌槽-モデル


Vector magnitude
3.000000
2.812500
2.625000
2.437500
2.250000
2.062500
1.875000
1.687500
1.500000
1.312500
1.125000
0.937500
0.750000
0.562500
0.375000
0.187500
0.000000
Time 0.033088 s
Probe value
0.011581
Average value
0.179922

[事例2]撹拌槽–モデル



現行の撹拌槽

新設案①

新設案②

[事例2]解析概要

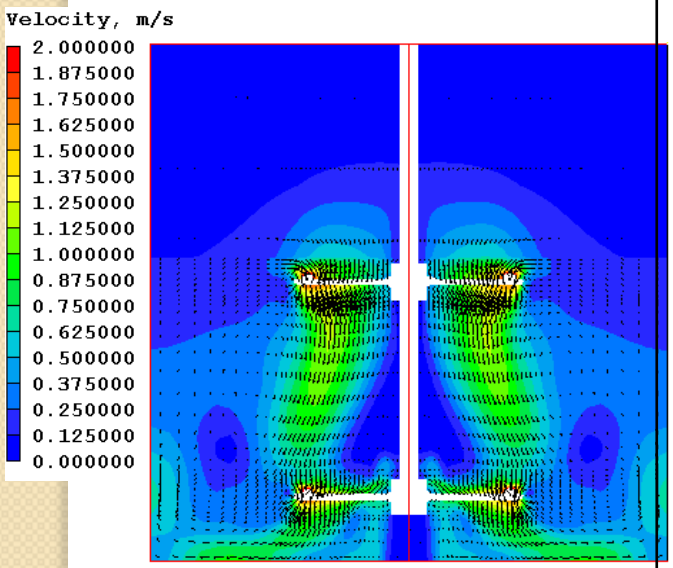
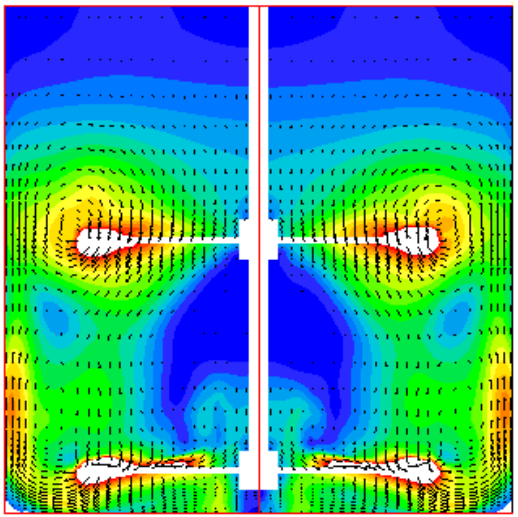
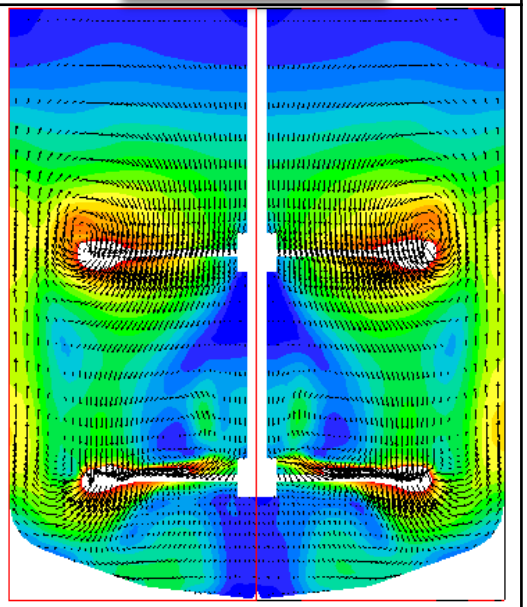
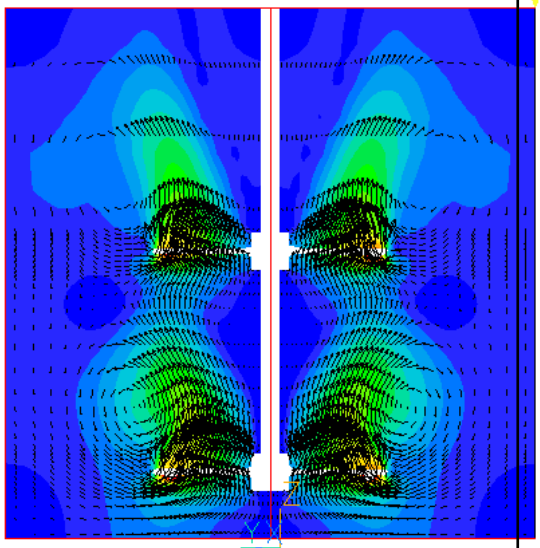
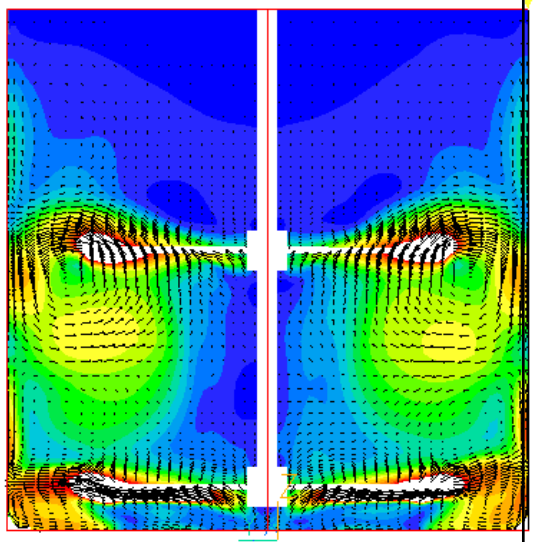
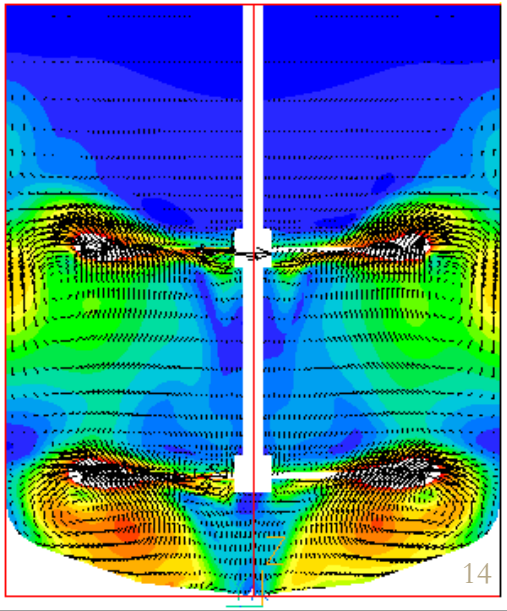
- 乱流モデル：定数渦粘性定数モデル

	代表長さ[m]	翼径[m]	密度[kg/m3]	動粘度[mm2/s]	動粘度[m2/s]
現行	2.4	1.06	1050	1.05	0.00000105
新設案	2.2	1.54	1050	1.05	0.00000105

	回転数[rpm]	翼端での流速[m/s]	撹拌Re数	Re数
現行	47	2.61	838241	5962443
新設案	47	3.79	1769288	7940549

※撹拌Re数　Re=d^2・n・ρ／μ=d^2・n／ν
（d：翼径[m]，n：回転数[s−1]，ρ：液密度[kg/m3]，μ：液粘度[Pa・s]，ν：動粘度[m2/s]）

[事例2]結果

	現行の撹拌槽	新設案①	新設案②
回転方向：時計回り			
回転方向：反時計回り			

[事例2]実験概要

今後、PHOENICSの解析結果と現実の
整合性が、より求められると判断し、
PIV(粒子画像流速測定法)を用いて、
スケールダウンモデルでの実験を行いました。

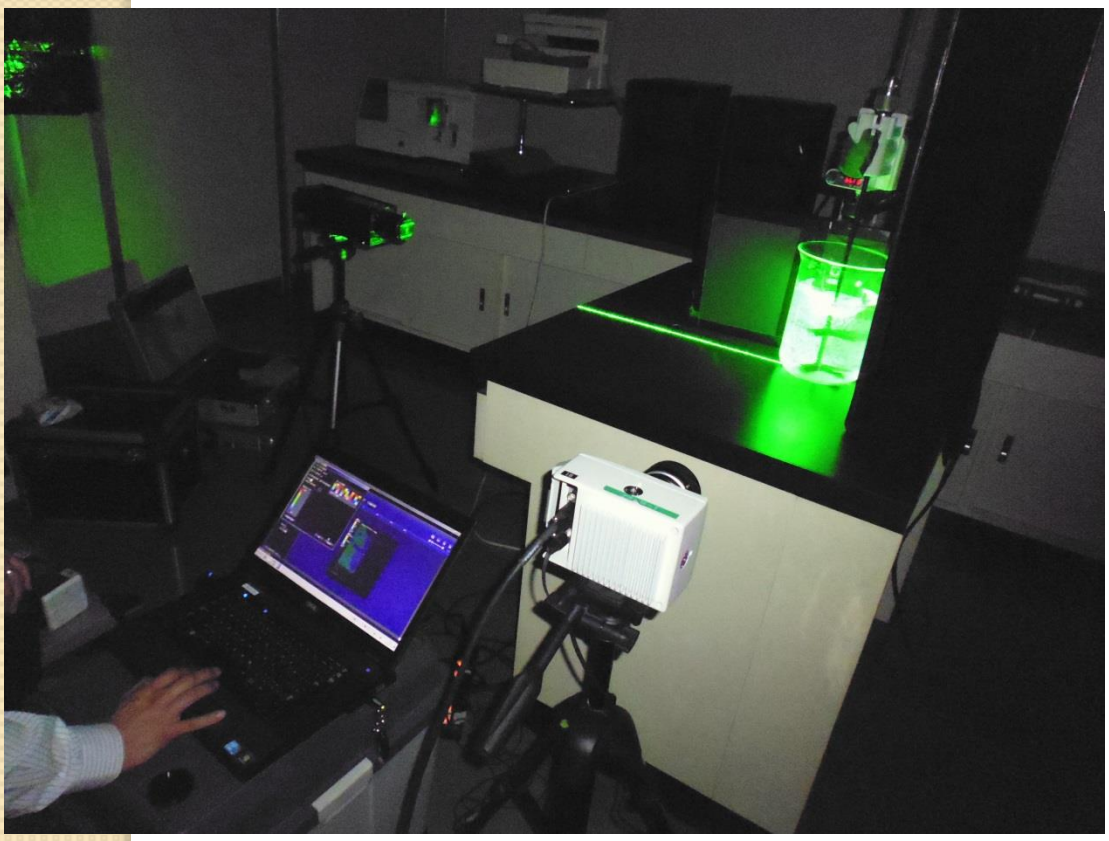


Fig3. 実験風景

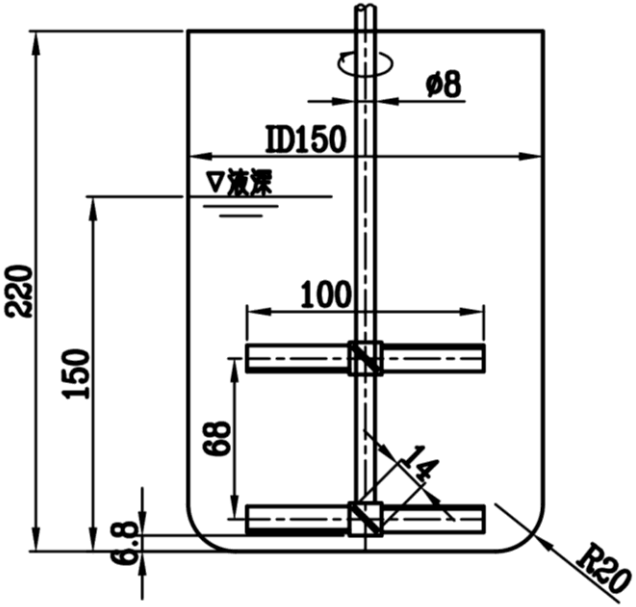
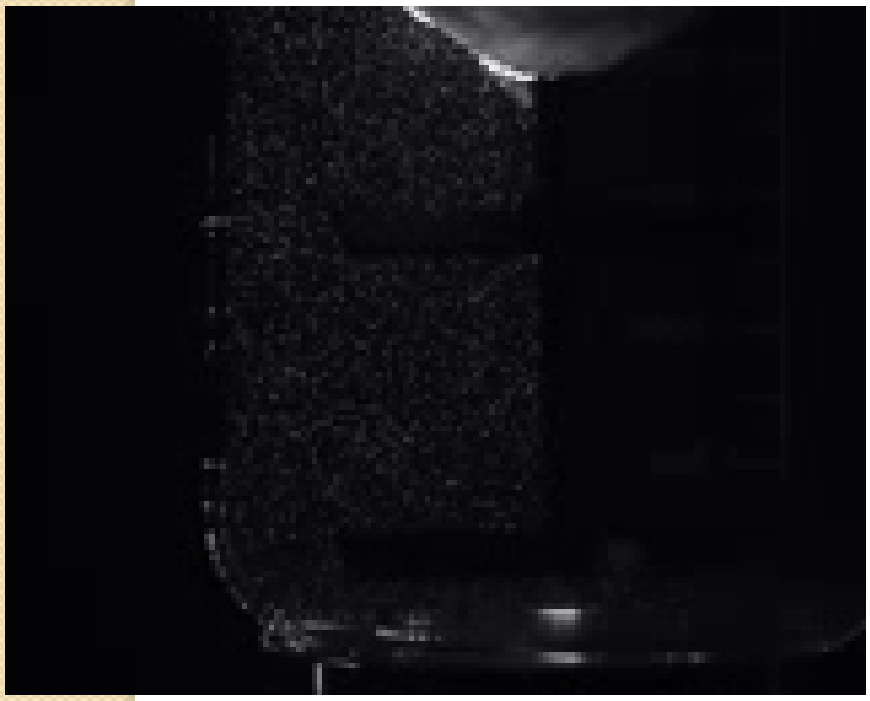


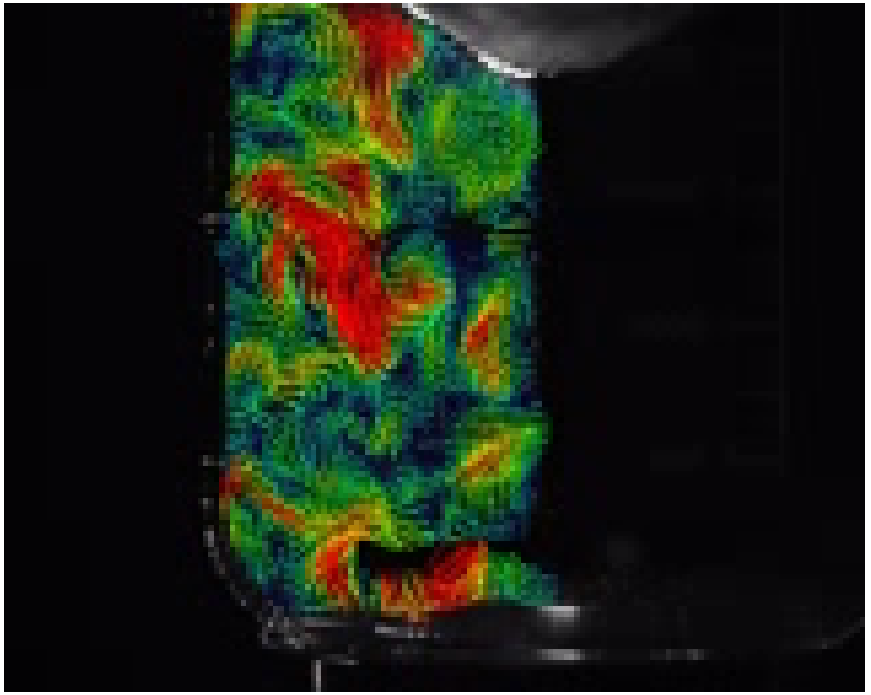
Fig1.計測対象の撹拌装置

Fig2. 撹拌翼(黒)

[事例2]実験結果（動画）

※180rpm、時計回り(掻き下げ)



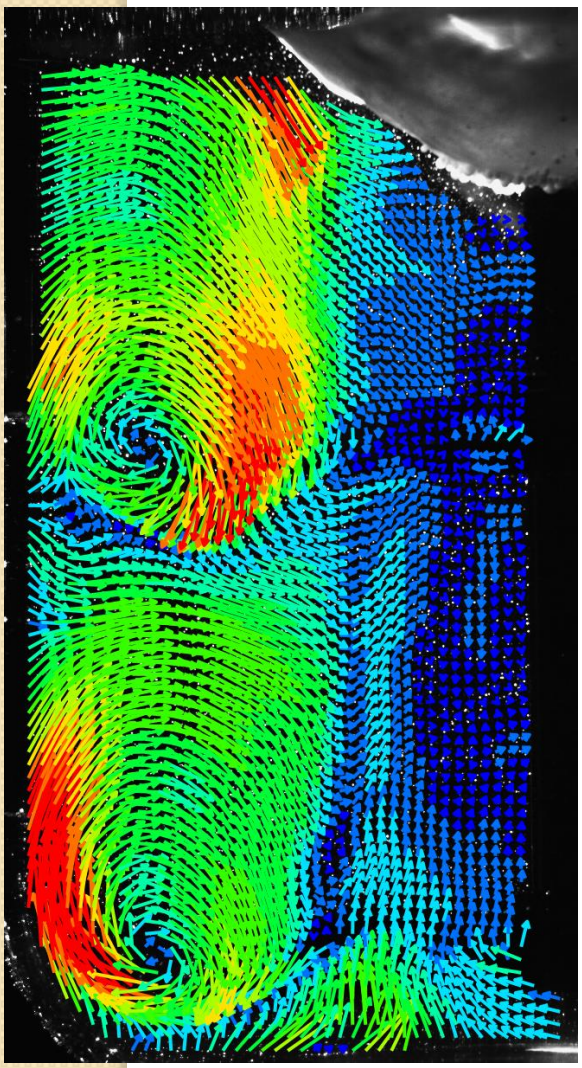


PIVにて撮影した動画

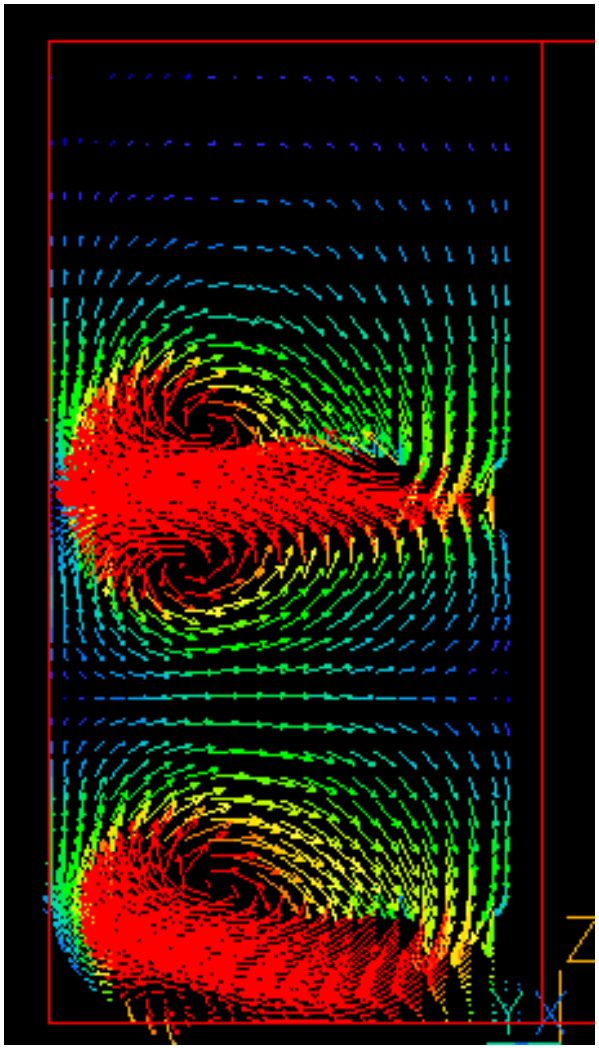
左の動画を解析し、速度ベクトルを表示させた動画

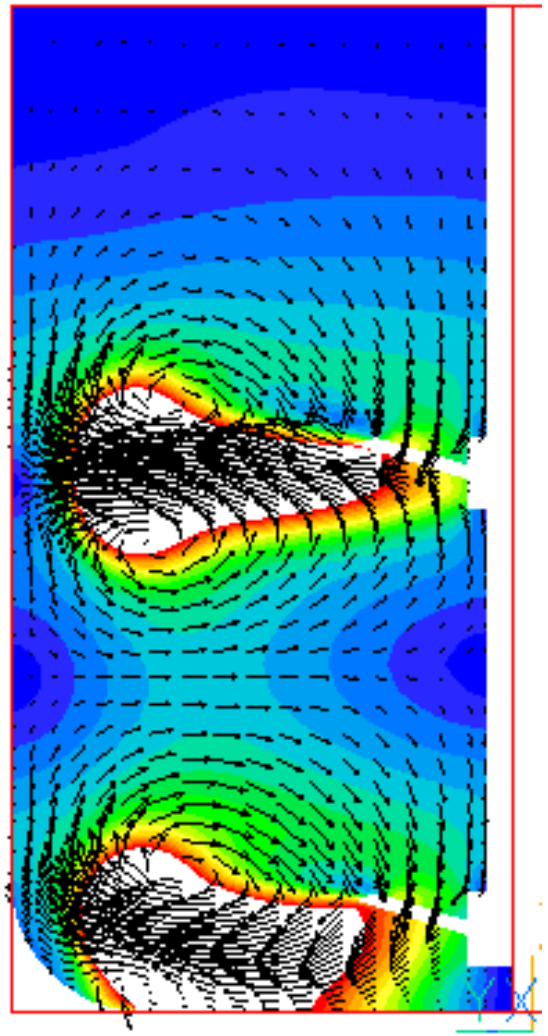
[事例2]実験結果

※180rpm、時計回り



PIVの解析画像





実験機サイズでのPHOENICSの解析画像

[事例2]PHOENICSを用いた撹拌所要動力の計算

実施の経緯―
客先は、撹拌翼径が大きくなっても撹拌動力が大きくなることを嫌がっており、
特に液が固まっている始動時に多大な動力を必要とすることから、
PHOENICSによって動力が求められないかとの質問がありました。

○理論式による撹拌動力の算出（永田式；無邪魔板撹拌動力）

	撹拌翼直径	撹拌翼幅	撹拌翼角度	槽直径	液位	回転数	回転数	液密度	動粘度	重力換算係数	機械効率	レイノルズ数				動力数	撹拌所要動力（佐竹式）	撹拌所要動力（客先式）
	m	m	°	m	m	rpm	rps	kg/m3	m2/s	kg・m/(kgf・s^2)							kW	kW
	d	b	θ	D	Z		n	ρ	μ/ρ	gc	η	Re	A	B	p	Np	P'	
現行	1.06	0.165	45	2.4	1.89	68	1.133	1390	1.05E-06	9.81	0.7	1212359	39.7	1.1	1.4	0.188	**0.73**	**0.51**
新設案1	1.54	0.165	45	2.2	2.2	47	0.783	1050	1.05E-06	9.81	0.7	1769288	41.7	0.6	1.3	0.117	0.72765929	0.509503264

○PHOENICSによる撹拌動力の算出（既設）

周(X)方向モーメントの合計		1.39E+02N・m
動力	P	**0.992**kW

○PHOENICSによる撹拌動力の算出（新設案1）

周(X)方向モーメントの合計		500.3794N・m
動力	P	2.462858kW

客先書類に、測定した動力は
理論値の1.5倍から2倍という
記載があるため、
値の傾向は良いです。

おわりに ～

今回ご紹介した事例2例のように、
PHOENICSを用いることにより、
プラント設計において
コストダウン、最適設計が実現可能となります。