

メタンハイドレート生産手法開発 メタンハイドレート生産シミュレータの開発 浸透率評価モジュールの開発

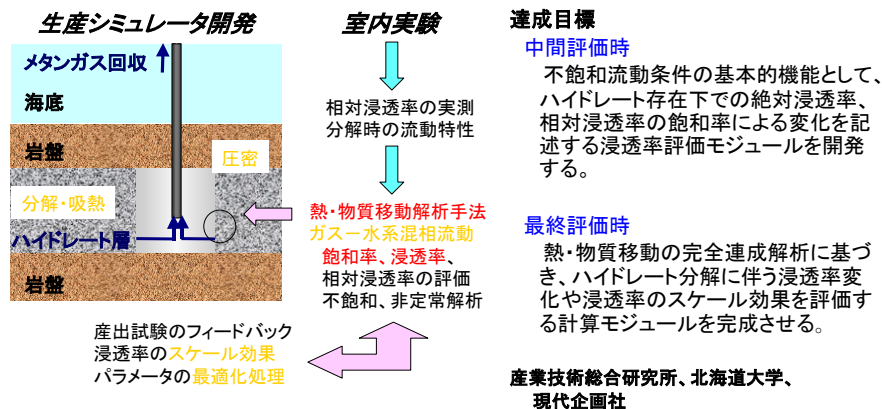
浸透率特性の評価

産業技術総合研究所
地圏資源環境研究部門
駒井 武

2003/5/20

1

研究開発の全体イメージ ー浸透率特性の評価ー



2003/5/20

2



平成14年度の研究内容

- 海底堆積層における多孔質体中のメタンガスと水の流動現象を再現する数値解析手法として、**飽和流動条件における熱・物質移動を伴う数値解析手法の開発**
- 流動特性シミュレータ装置を用いて、浸透流解析に必要な**絶対浸透率、飽和率、孔隙率等の各種パラメータの評価**
- 浸透流解析に必要な物理領域として、現場条件の物性、境界条件などをモデル化した**3次元的な要素メッシュデータの作成**(現代企画社)
- メタンガスと水が同時に存在する混相流動条件における**相対浸透率び計測法および解析手法の開発**(北大大賀研)

2003/5/20

3



1. 飽和流動条件における熱・物質移動を伴う数値解析手法の開発

2003/5/20

4



はじめに

- **メタンハイドレート生産シミュレータの開発**
ハイドレート堆積層からガスの生産性を評価するための
フィールドスケールに対応可能な生産シミュレータの開発
- **浸透率評価モジュール**
堆積層内の熱・物質移動およびハイドレートの分解・堆
積層の圧密による浸透率変化を予測するための数値解
析手法および評価モジュールの開発
- **実験装置スケールのシミュレータの開発**
実験結果と計算結果の比較から、その妥当性の検証を
行うためのシミュレータ。得られた実験式等は、FEHM
(Finite Element Heat and Mass Transfer Code)に導入

2003/5/20

5



物理モデル

- ガス、水、ハイドレートの**一次元三相三成分モデル**
- 熱水圧入法を模擬し、ハイドレートの分解を促進させるた
めに**所定温度の熱水を一定流速で圧入**
- ハイドレートはマトリックスの一部としての取り扱い。ハイド
レートは流動性を持たず、岩石とハイドレートにより形成さ
れた媒質における**仮想孔隙内のガス-水二相流動**
- ハイドレートの分解に伴い、**絶対浸透率および相対浸透
率(不動水飽和率)が変化**
- ガスおよび水のエンタルピの移動と熱伝導、またハイドレ
ートの分解に伴う吸熱により、貯留層の温度が変化

2003/5/20

6

三相(ガス-水-ハイドレート) 三成分(ガス-水-ハイドレート)数学モデル

➤ 各相の質量収支式

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Kk_{rg,w} \rho_{g,w}}{\mu_{g,w}} \frac{\partial P}{\partial x} \right) + (\pm \alpha_{g,h,w} R_d) = \frac{\partial (\phi \rho_{g,h,w} S_{g,h,w})}{\partial t}$$

➤ エネルギー収支式

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Kk_{rg,w} h_{g,w}}{\mu_{g,w}} \rho_{g,w} \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_c \frac{\partial T}{\partial x} \right) + (-H_d R_d) = \frac{\partial (\phi \rho_{g,h,w} S_{g,h,w} U_{g,h,w} + U_r)}{\partial t}$$

➤ 運動方程式

$$v_{g,w} = - \frac{Kk_{rg,w}}{\mu_{g,w}} \frac{\partial P}{\partial x}$$

➤ 状態方程式

$$S_g + S_h + S_w = 1$$

2003/5/20

7

基準計算条件(実験に準じて設定)

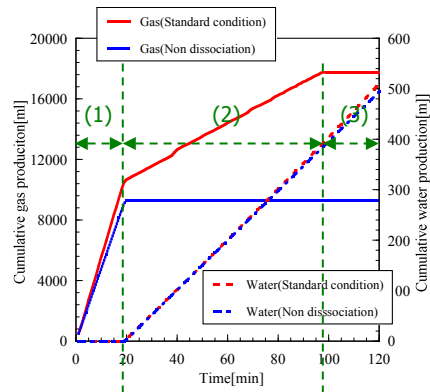
パラメータ	値
貯留層の断面積, cm ²	19.62
貯留層の長さ, cm	20.00
ブロック長さ, cm	1.000
時間刻み, s	0.100
絶対浸透率, Darcy	10.00
孔隙率	0.400
坑底圧, atm	100.0
初期温度, °C	5.000
ハイドレートナンバ	5.750
初期ガス飽和率	0.600
初期ハイドレート飽和率	0.300
初期水飽和率	0.100
初期ガス粘度, cP	0.017
初期水粘度, cP	1.501
水の圧入流量, cm ³ /min	5.0
圧入温水の温度, °C	50.00

2003/5/20

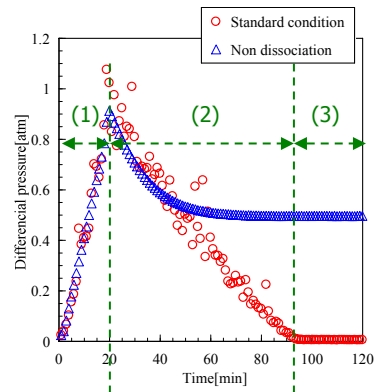
8

圧入・産出挙動

- (1) 圧入水によるフリーガスの置換と産出
- (2) 分解生成ガスの産出
- (3) 分解の終了



(a) 累計ガスおよび水産出量

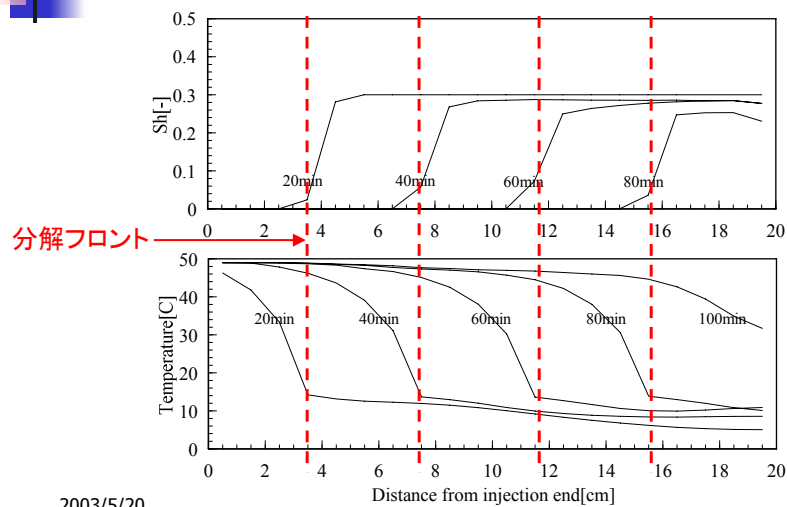


(b) 差圧

2003/5/20

9

飽和率ならびに温度分布の変化

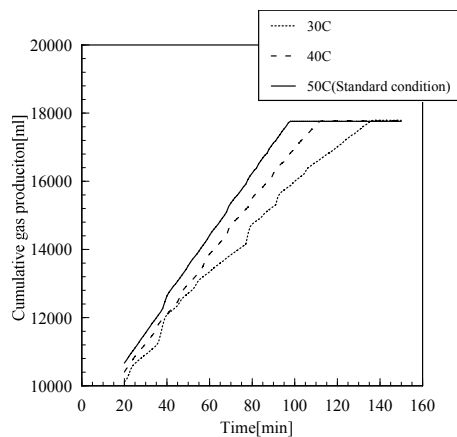


2003/5/20

10



圧入水の温度の影響



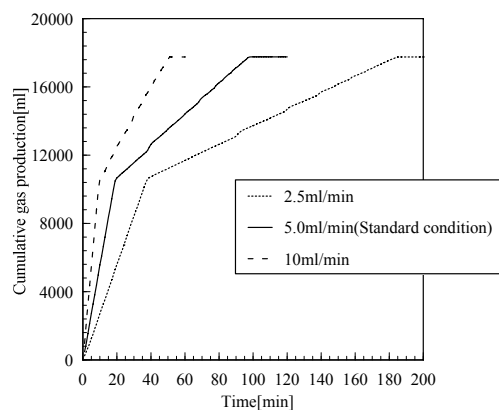
※ 圧入水の温度を30, 40, 50℃の3段階に変化

2003/5/20

11



圧入水量の影響



※ 圧入水量を2.5, 5.0, 10ml/minの3段階に変化

2003/5/20

12

2. 浸透流解析に必要な絶対浸透率, 飽和率, 孔隙率等の各種パラメータの評価

2003/5/20

13

メタンハイドレート透水試験装置 ー流動特性シミュレータ装置ー



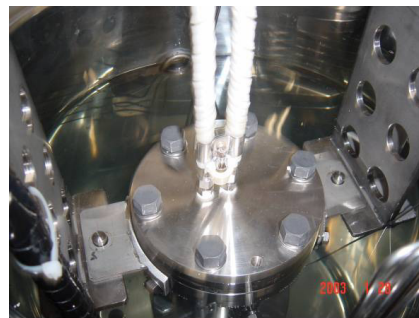
2003/5/20

14

ハイドレート観察用高圧容器



ポリカーボネート製3重管透明容器
直径50mm*長さ200mm
設計圧力 15Mpa

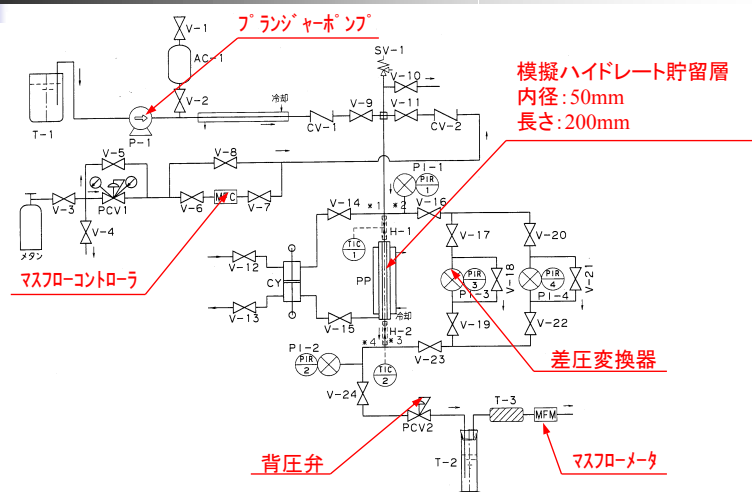


ステンレス製模擬ハイドレート貯留層
直径50mm*長さ200mm
設計圧力 15Mpa

2003/5/20

15

メタンハイドレート透水試験装置の概略



2003/5/20

16

実験条件

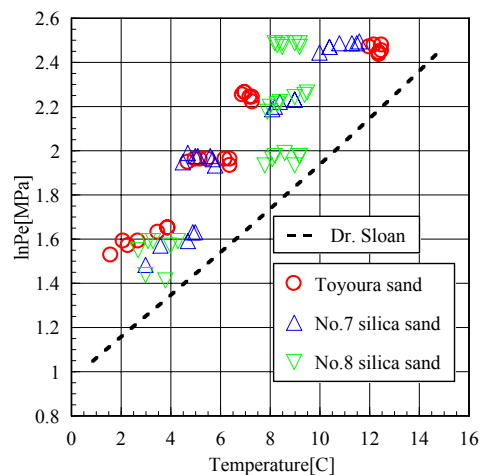
表 実験条件												
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
使用砂	豊浦	豊浦	豊浦	豊浦	7号	7号	7号	7号	8号	8号	8号	8号
孔隙容積, ml	148.0	146.0	151.0	148.0	150.5	152.0	155.5	152.0	163.0	164.0	163.5	165.0
孔隙率, %	37.7	37.2	38.5	37.7	38.3	38.7	39.6	38.7	41.5	41.8	41.7	42.0
絶対浸透率, Darcy	19.0	15.1	19.7	18.3	9.62	10.2	10.7	9.97	4.96	4.91	4.01	4.66
初期圧力, MPa	5.3	7.5	10.0	12.5	5.30	7.50	10.0	12.5	5.30	7.50	10.0	12.5
ガス圧入流量, Scm ³ /min	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
ガス圧入による置換水量, ml	100	99.5	109	102	91.0	96.0	106	102	84.0	94.0	91.5	100
充填ガス量, Scm ³	5618	8544	-	15025	5489	7841	11152	15169	5084	7551	9944	14600
不動水飽和率, %	40.9	40.4	36.1	39.5	47.8	45.1	39.9	41.1	56.1	50.3	51.7	47.0
ハイドレート成長による圧力降下, MPa	2.32	4.24	6.68	8.25	2.22	4.42	6.42	9.30	2.00	4.54	6.68	9.10
ハイドレート飽和率 (推算値), %	10.3	19.0	31.7	37.4	8.8	18.4	28.8	41.1	6.8	17.1	24.6	36.3
見かけの絶対浸透率, Darcy	2.557	0.793	0.712	0.382	1.894	0.691	0.470	0.182	1.671	0.597	0.236	0.143
絶対浸透率比	0.1343	0.0526	0.0362	0.0209	0.1968	0.0709	0.0438	0.0179	0.3366	0.1215	0.0588	0.0306
分解時水圧入流量, ml/min	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
分解時圧力, MPa	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
ガス産出量, Scm ³	4470	3603	10017	10655	1892	5249	9362	11928	2336	5329	8286	11953
圧力解法時ガス産出量, Scm ³	978	2623	-	2297	1030	2098	1968	2008	715	948	1004	1401
ガスマスバランス, %	102.0	80.9	-	92.9	66.7	96.7	102.7	93.8	77.2	88.8	97.2	94.5
残留ガス飽和率, %	6.61	17.97	-	15.52	6.84	13.80	12.66	13.21	4.39	5.78	6.14	8.49
※ 絶対浸透率比 = (ハイドレート存在下での) / (元の) の値												
※ ガスマスバランス = (出口の積算値) / (入口の積算値) × 100												

※ 絶対浸透率比=(ハイドレート存在下での値)/(元の値)
 ※ ガスマスバランス=(出口の積算値)/(入口の積算値)×100

2003/5/20

17

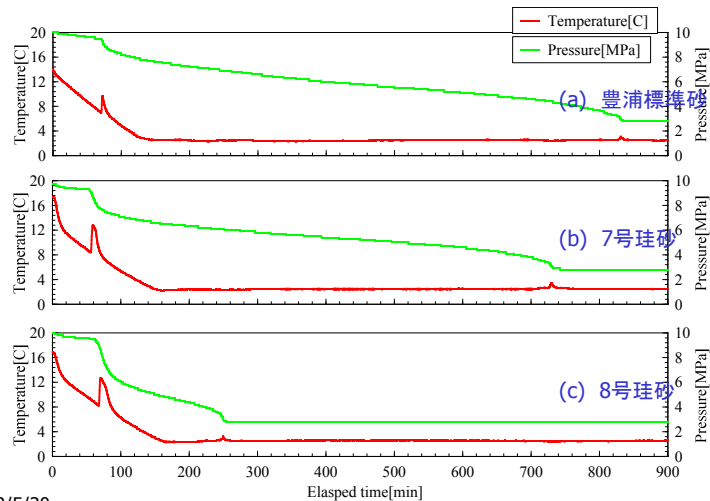
充填砂が異なる場合のハイドレート生成点



2003/5/20

18

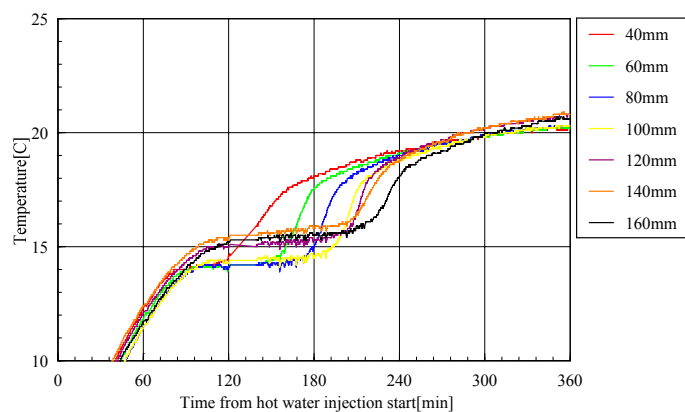
ハイドレート生成時の温度・圧力挙動



2003/5/20

19

ハイドレート分解時の温度分布の変化

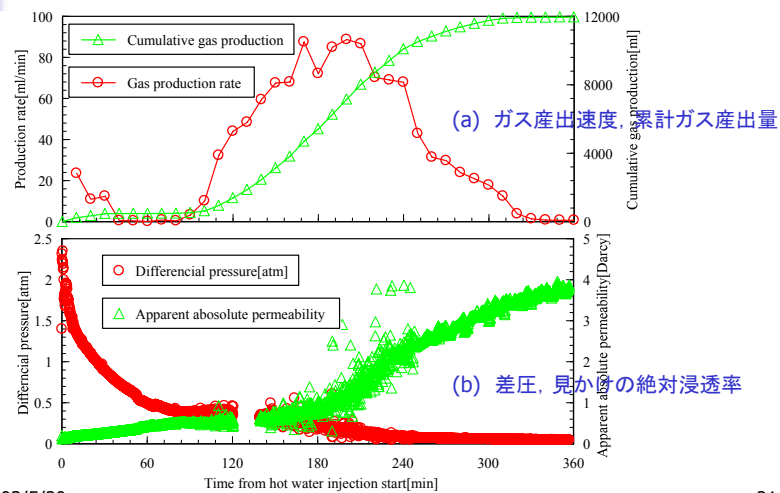


実験12 (8号珪砂使用, 初期ハイドレート飽和率36.3%)

2003/5/20

20

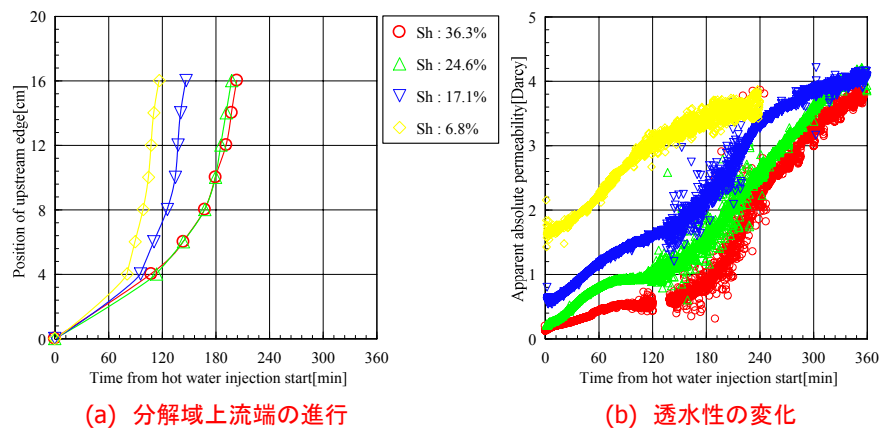
ハイドレート分解時の貯留層の透水性の変化



2003/5/20

21

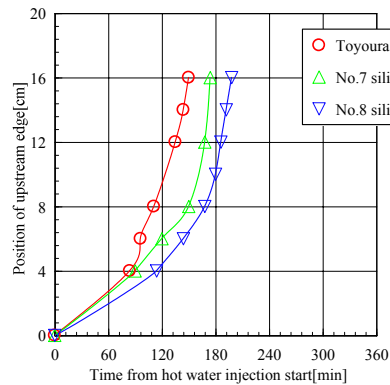
分解挙動のハイドレート飽和率依存性



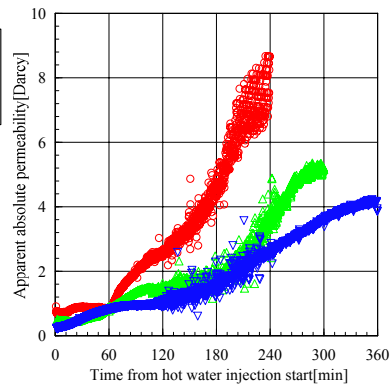
2003/5/20

22

分解挙動の充填砂依存性



(a) 分解域上流端の進行

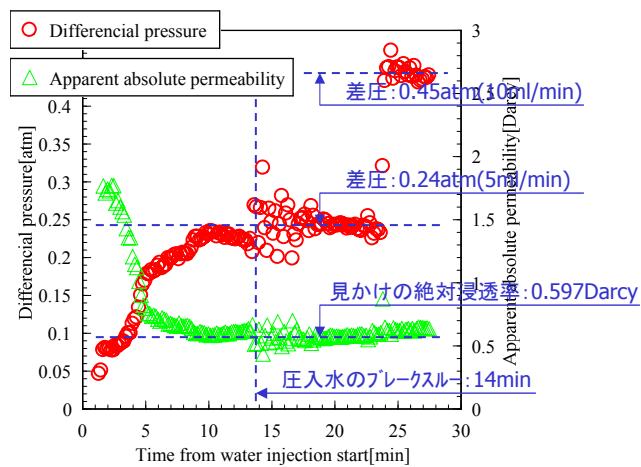


(b) 透水性の変化

2003/5/20

23

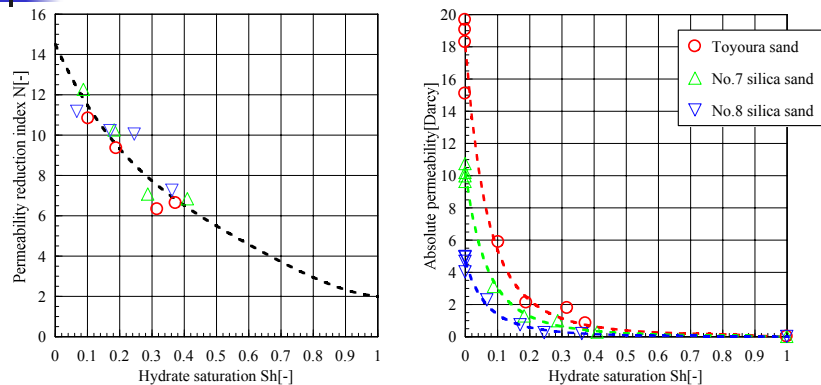
ハイドレート飽和率と絶対浸透率の関係の定式化 (冷水圧入時の圧力挙動)



2003/5/20

24

ハイドレート飽和率と絶対浸透率の関係の定式化 (浸透率減少乗数N, 絶対浸透率のハイドレート飽和率依存性)



$$K = K_0 (1 - S_h)^N$$

$$N = 25.219S_h^4 - 62.176S_h^3 + 60.206S_h^2 - 35.743S_h + 14.510$$

2003/5/20

25

まとめ(1)

- ハイドレートの分解に伴う貯留層の絶対浸透率の変化や熱・物質移動等の一連の物理現象を加味した、有限差分法による三相三成分実験装置スケールシミュレータの計算プログラムを作成した。
- メタンハイドレート透水試験装置の設計製作を行い、現在ハイドレート生成・分解時の透水性の変化に関する検討を進めるとともに、ハイドレート飽和率(推算値)と絶対浸透率(水)の定性的な関係を求めた。

2003/5/20

26



まとめ(2)

- 3次元メッシュデータを作成するためのプリ・ポストプログラムの作成および物理領域を3次元可視化表示するためのシステムを構築した。(現代企画社)
- 混相流動条件における水とガスの流れの計測法について検討し、流動特性シミュレータ装置における高圧容器および測定システムの設計と製作に反映させた。(北大 大賀研)

2003/5/20

27



今後の研究課題

- 混相流動条件(メタンと水が共存)における熱-物質移動に関する数値解析手法を開発する。
- 浸透率特性を評価するための物理領域の作成用ツールを開発し、実際の解析に適用する。(現代企画社)
- 相対浸透率の計測方法と実験手法を確立し、多孔質体内の混相流動現象の評価を行う。(北大:大賀研)
- 流動特性シミュレータ装置の改良により、混相流動パラメータを取得し、相対浸透率の定式化を行う。
- ハイドレートの分解に伴う浸透率の動的な変化を観察し、浸透率特性の予測手法を確立する。

2003/5/20

28