

ガスリフト方式による揚収制御技術の開発

大阪大学 大学院基礎工学研究科

杉山 和靖, 木高 佳周, 安上 裕輝

本研究は、経済産業省「国内石油天然ガスに係る地質調査・メタンハイドレートの研究開発等事業（メタンハイドレートの研究開発）」の一環として実施した。関係各位に対し、謝意を表する次第である。

1

表層型MHの揚収過程を数値シミュレーションにより予測したい

揚収方法

ガスリフト方式

1. 揚収管途中にガスを注入
2. 密度低下により上昇流が生じる
3. 海底から揚収物を持ち上げる

メリット

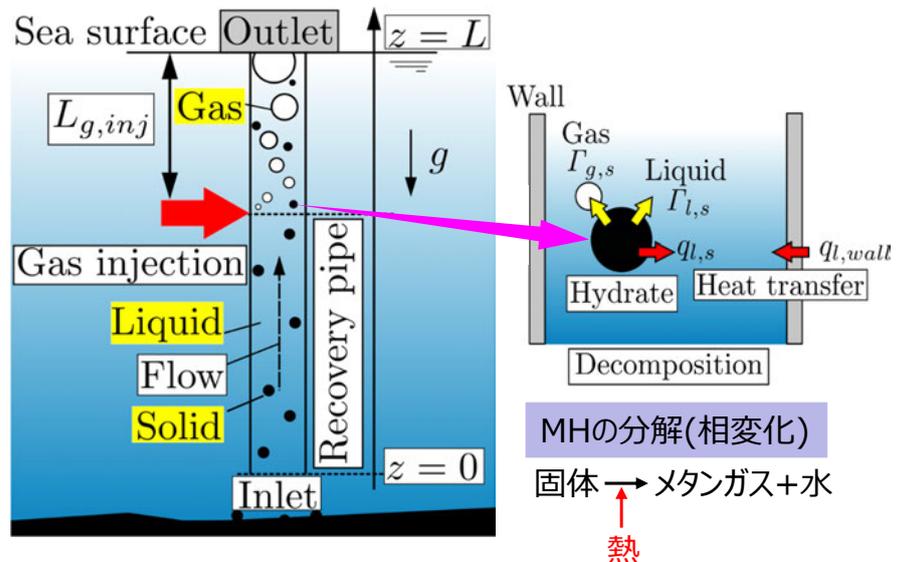
- ・単純構造
- ・多数の実績がある

自己ガスリフト効果¹⁾

MH自体が産出するガス
によって得られるガスリフト効果
→効率化が見込める

1) 濱口涼吉, PhD thesis, (2006).

ガスリフトシステムの概略図



数値シミュレーションの役割

- ・ 深さ ~ 1000m. 巨大システムの実験の代替
- ・ 設計開発の合理化
- ・ 原理原則に基づく議論. 揚収に関する機構解明



予測の信頼性はどうか？
揚収過程にシンプルな規則性があるか？
数値計算側から、何か提案できないか？

2

目的

揚収技術の開発. その制御方法の検討

手段

一次元 multi-fluid modelを用いた
固気液三相流動 + 熱物質輸送 の数値予測

課題

- 数値計算技術の整備
(予測精度向上, 機能拡張, 演算高速化)
- 揚収プロセスにおける安全性 ↑, 経済性 ↑
(条件探索: 揚収管長さ, 揚収管径の変化,
ガス吹き込み流量, ガス吹き込み位置. . .)

一次元 multi-fluid modelの支配方程式と数値実行に必要なモデル式

普遍的な原理原則と, 条件依存の経験則

(i = g, l, s)

運動量保存

$$\alpha_i \rho_i \frac{\partial u_i}{\partial t} + \alpha_i \rho_i u_i \frac{\partial u_i}{\partial z} + \alpha_i \frac{\partial p}{\partial z} + F_{w,i} + F_{g,i} + F_{i,j} = 0,$$

壁面摩擦
相間摩擦
重力

質量保存

$$\frac{\partial(\alpha_i \rho_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha_i \rho_i u_i)}{\partial z} - \Gamma_i = 0,$$

質量変化

温度輸送

$$\rho_l C_{p,l} \left(\frac{\partial T_l}{\partial t} + u_l \frac{\partial T_l}{\partial z} \right) - \sum_{j=wall,s} q_{l,j} = 0,$$

熱伝達 (管壁, MH)

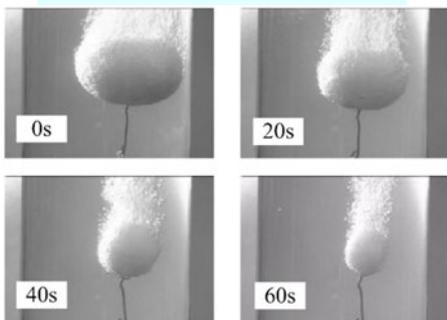
1) Hamaguchi (2006)

流動様式に応じたモデル式

Bubble flow
Slug flow
Churn flow
Annular flow

気泡流
スラグ流
チャーン流
環状流

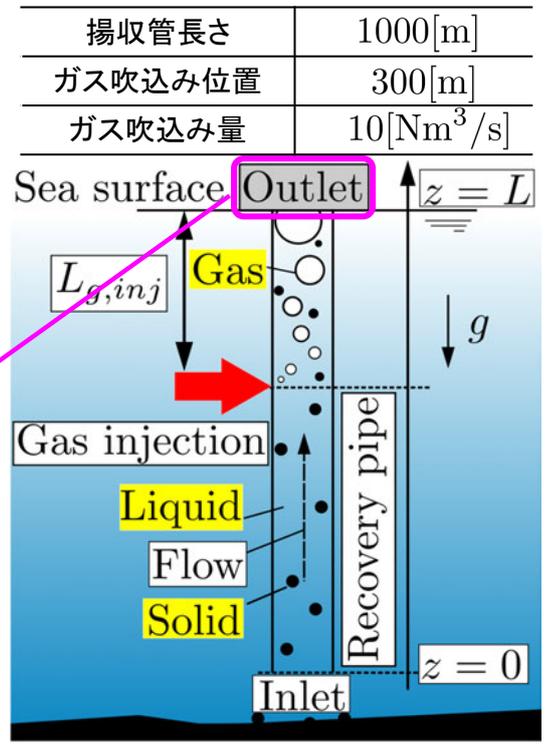
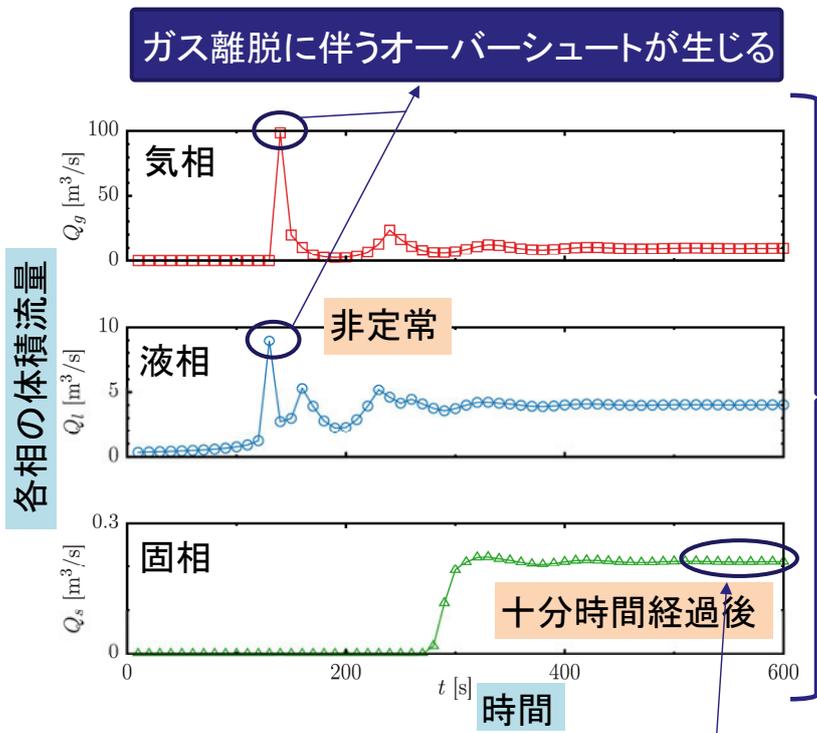
ガスハイドレート分解実験¹⁾



自己ガスリフト効果の影響は？

多くのモデルは数インチ径管を対象.
→ メートルオーダー径の揚収管への適用性は？

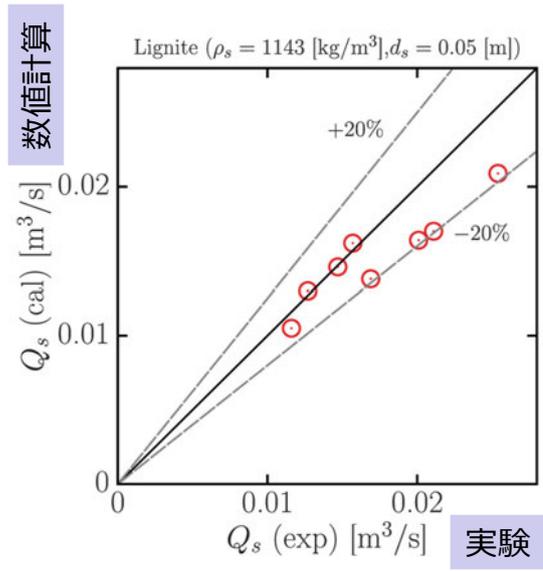
計算例（各相揚収量の時間変化）



十分に時間が経過したあとのMH揚収量を増やしたい

検証： 固気液三相流の大規模実験との比較

固相流量（数値計算 vs. 実験）



	管の長さ[m]	ガス吹込み量(L/s)	固相体積分率(%)
Exp.1	451.0	584	6.0
Exp.2	451.0	713	7.5
Exp.3	451.0	412	4.8
Exp.4	449.8	691	8.6
Exp.5	449.3	527	7.8
Exp.6	449.4	505	5.4
Exp.7	449.3	497	4.7
Exp.8	449.4	388	4.7

既存の実験結果を再現

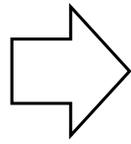
最適な運転条件, 設定条件の探査 (MH相変化を無視)

パラメータ:

ガス吹込み量 $Q_{g,inj}$

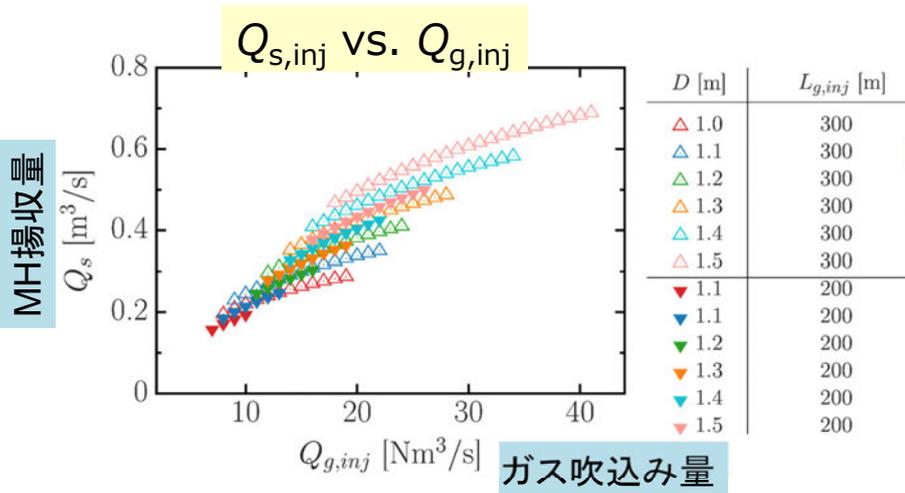
揚収管直径 D

ガス吹込み深さ $L_{g,inj}$



MH揚収量 Q_s
はどうか?

計算条件	
揚収管長さ	1000[m]
ガス吹込み位置	200, 300[m]
揚収管径	1.0 - 1.5[m]
MH粒子径	0.1[m]



MH揚収量増加の要因

- $Q_{g,inj}$ ↑ (吹込み量大)
- D ↑ (管太 → 摩擦抵抗↓)
- $L_{g,inj}$ ↑ (吹込み深さ深)

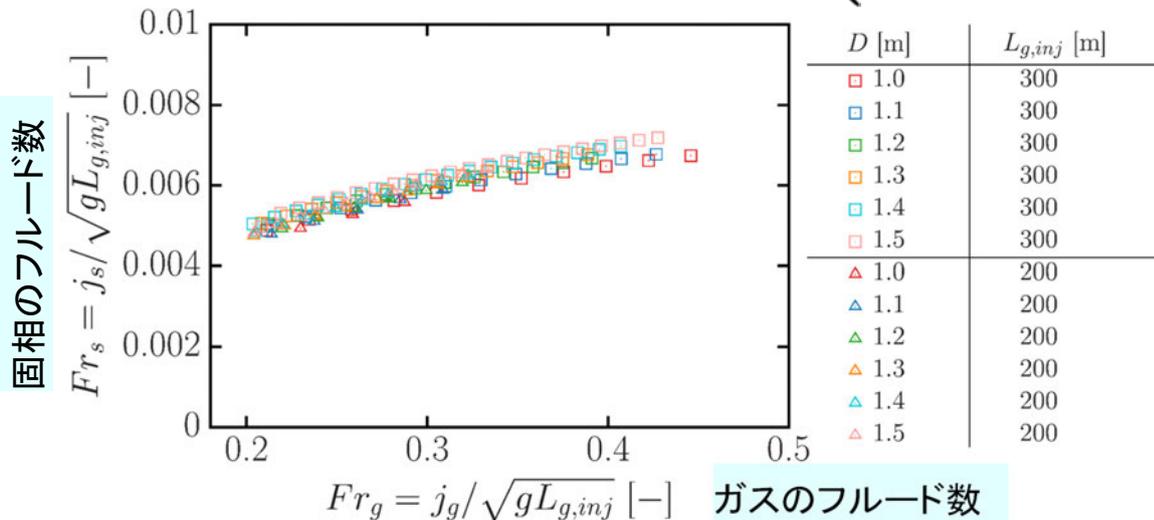
7

固相の揚収量の整理 (MH相変化を無視)

固相とガスのフルード数

$$Fr_s = j_s / \sqrt{gL_{g,inj}} [-] \quad \left(j_s = Q_s / A \text{ [m/s]} \right)$$

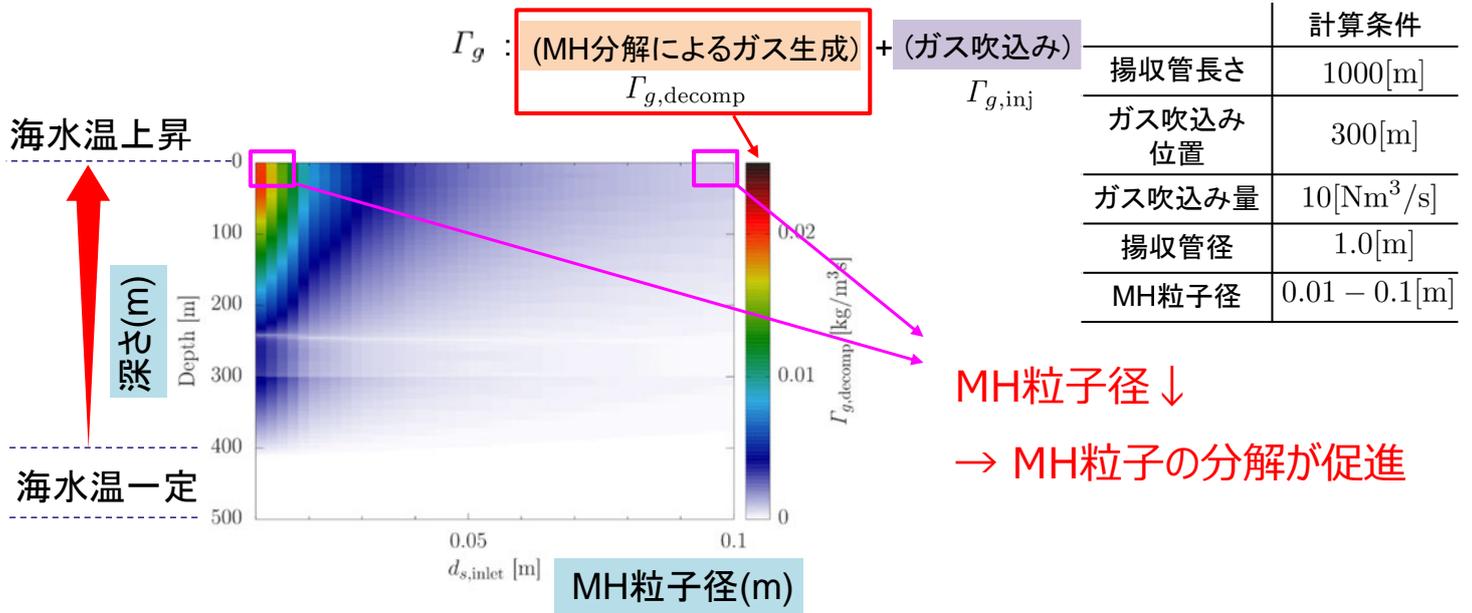
$$Fr_g = j_g / \sqrt{gL_{g,inj}} [-] \quad \left(j_g = Q_{g,inj} / A \text{ [m/s]} \right)$$



様々な条件のプロットが概ね一直線上 → 揚収量簡易予測を可能に

8

相変化による気相の質量変化量 (MH粒子径の影響)

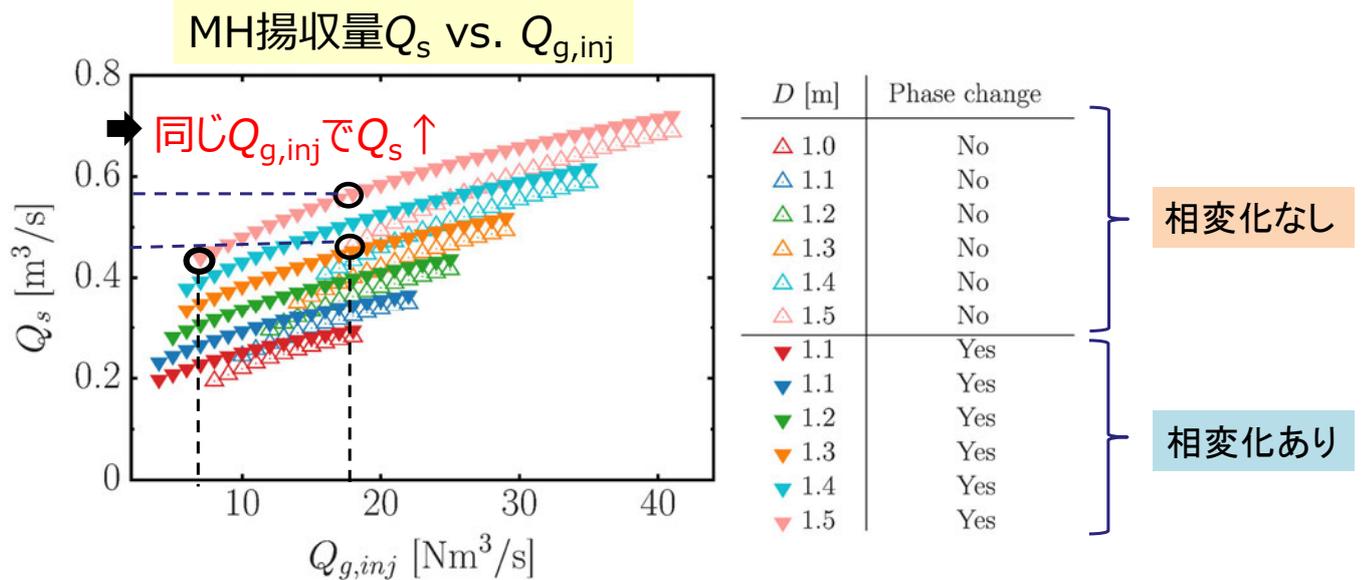


9

自己ガスリフト効果

揚収管長さ: 1000[m], MH直径: 0.01[m], ガス吹込み位置: 300[m]

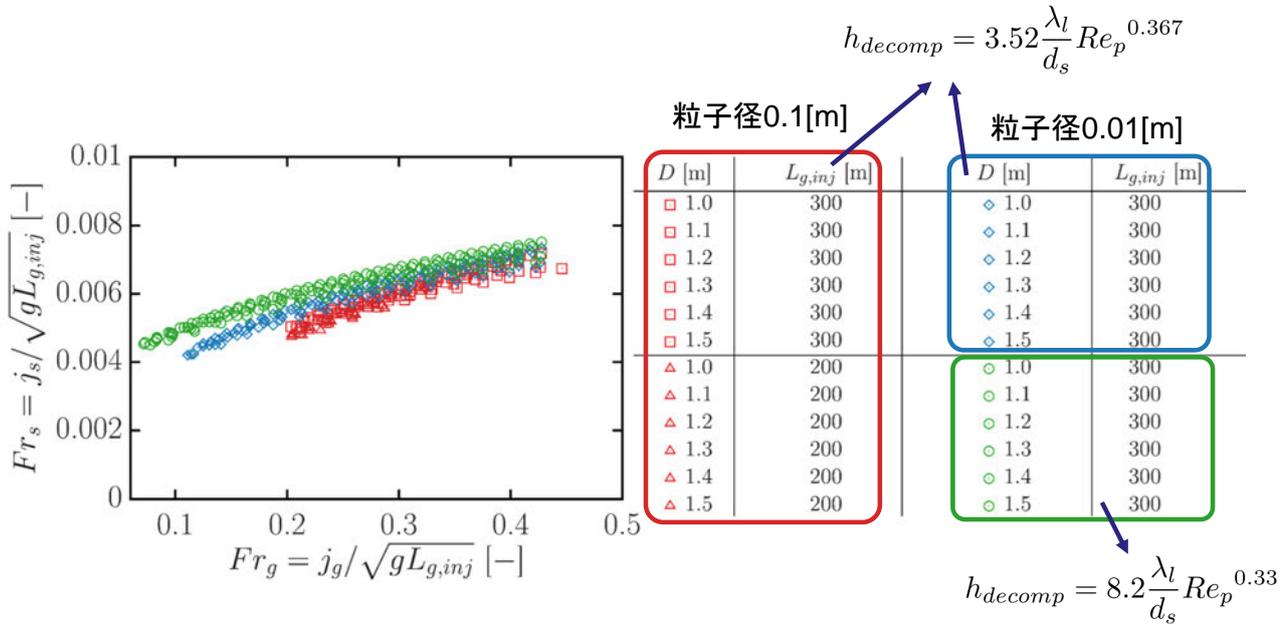
パラメータ 管直径 D : 1.0~1.5[m], ガス吹込み量 $Q_{g,inj}$: 1.0~40[Nm³/s]



運転に必要な最小のガス吹込み量が変化

10

自己ガスリフト効果 → 固相とガスのフルード数の関係は？

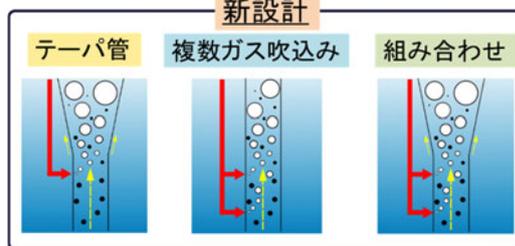


異なる曲線に分布. 統一的に整理できなくなる
 MH粒子径小 → 自己ガスリフト効果 顕在化

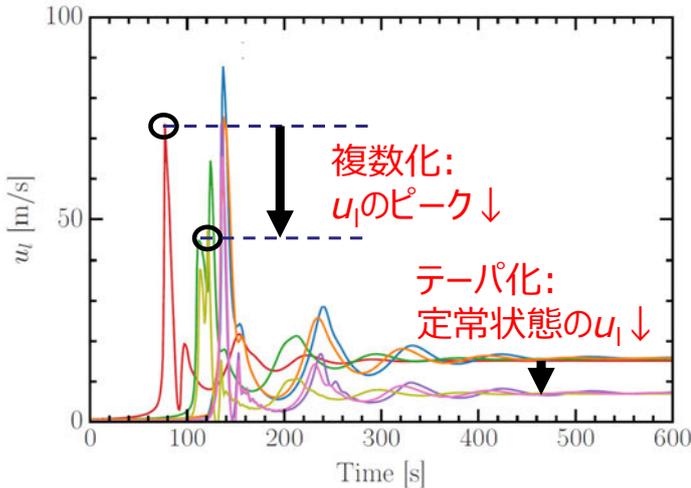
回収システムにおける新設計の検討：テーパ，複数吹込みの効果は？

リスク要因

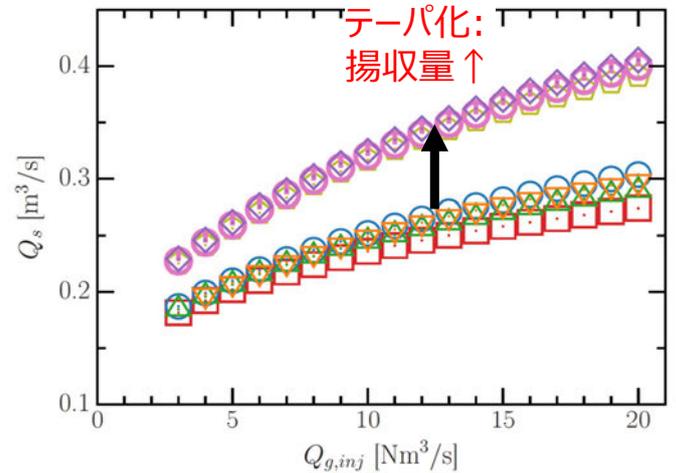
出口部：
 オーバーシュートを伴う
 高速液噴出



出口液流速 u_l の時間変化 ($Q_{g,inj} = 10 \text{ Nm}^3/\text{s}$)



MH揚収量 Q_s vs. $Q_{g,inj}$



Form	Injection point	Form	Injection point
-	Straight 200	-	Tapered 300
-	Straight 300	-	Tapered 300 + 200
-	Straight 300 + 200	-	Tapered 300 + 250
-	Straight 300 + 250		

Form	Injection point	Form	Injection point
□	Straight 200	◇	Tapered 300
○	Straight 300	◇	Tapered 300 + 200
△	Straight 300 + 200	◇	Tapered 300 + 250
▽	Straight 300 + 250		

設計条件によって，安全性 ↑ & 経済性 ↑

まとめ

MH揚収量 vs. ガス吹込み量

- ・フルード数で整理
- ・MH粒子径小 → 自己ガスリフト効果 顕在化

拡大管と吹込み複数化

- ・高速液噴出 緩和
- ・MH揚収量 ↑

現在・今後の課題

MH再ハイドレート化による管閉塞の制御

相変化の予測精度向上に向けて検討

- ・ガスリフトは圧力低下を伴うシステム。
温度：揚収時に上昇．吹込みガスの減圧膨張時に低下
再ハイドレート化の検討には，非平衡・空間の広がりを想定．
- ・物性パラメータの決定に実験との共働必要