

平成 28 年度

卒業論文

窒素富化空気を用いた消火に関する研究

-窒素の浮力による区画内濃度分布に対するフルード数の影響-

東京理科大学

工学部第二部建築学科

辻本研究室

5112009 浮田凌

目次

第1章	序論.....	1
1. 1	窒素富化空気について.....	1
1. 2	ガス系消火設備との比較.....	1
1. 3	窒素富化空気を用いた消火装置の課題.....	2
1. 4	本研究の目的および構成.....	2
第2章	酸素濃度測定による浮力の影響検証.....	4
2. 1	区画内の酸素濃度測定.....	4
2. 1. 1	実験条件.....	4
2. 1. 2	実験結果.....	9
2. 1. 3	考察.....	27
2. 2	流出口面積の影響.....	28
2. 2. 1	実験条件.....	28
2. 2. 2	実験結果.....	29
2. 2. 2	考察.....	36
2. 3	無次元時間による入口フルード数の影響.....	37
2. 3. 1	無次元時間について.....	37
2. 3. 2	実験条件.....	37
2. 3. 3	実験結果.....	39
2. 3. 3	考察.....	45
第3章	結論.....	46

第1章 序論

1.1 窒素富化空気について

気体分離膜や高分子材料を用いて空気中の酸素を取り除き生成される窒素濃度の高い空気（窒素富化空気，NEA：Nitrogen Enriched Air）は，酸化防止などの工業用用途として幅広く利用されている。このNEAを火災安全技術，具体的には防・消火設備として応用することも検討されている。

窒素富化空気は，酸素濃度0～21%（大気）まで任意に制御することができるため，酸素濃度を防護対象物の着火限界以下にすることができ，かつ圧縮空気が供給できれば長時間にわたり窒素富化空気を供給することができるため防護区画内の防・消火に用いることができる。

特に，東日本大震災以降，既存消火設備のバックアップを目的とした消火設備が求められており，窒素富化空気を用いた消火装置は，長時間にわたり窒素富化空気を供給できるため有効なバックアップ用の消火装置とかがえる

1.2 ガス系消火設備との比較

窒素富化空気を用いた消火装置とガス系消火設備の比較は下記のような
る。

表 1.2.1 ガス系消火設備との比較

	窒素富化空気を用いた消火装置	ガス系消火装置
消火時間	長い (装置のスペックによる)	短い (必要量の90%を1分以内に放射)
消火剤	空気 (圧縮空気があれば24時間使用可能)	ボンベ (ボンベがなくなれば使用できない)
耐震性	良い (移動式にすることができる)	建屋の耐震性に依存する

1. 3 窒素富化空気を用いた消火装置の課題

ガス系消火設備は、必要消火剤量の約 90%を 1 分以内に放射し区画内の空気と急速に混合するため区画内の酸素濃度が均一に低下する。一方、窒素富化空気を用いた消火装置は震災時のバックアップ装置としての運用を想定しているため、ガス系消火設備より注入流量が少ない。したがって、区画内を着火限界以下にするために時間がかかる。

また、窒素は、空気と比べて密度が約 3.4%小さいため注入流速が遅い（＝運動量が小さい）場合は、注入した窒素は空気との密度差により空間上部に停滞する性質があるため、通常の火災のように火源が空間底部にある状態では、十分に消火性能を發揮しないことが懸念される。

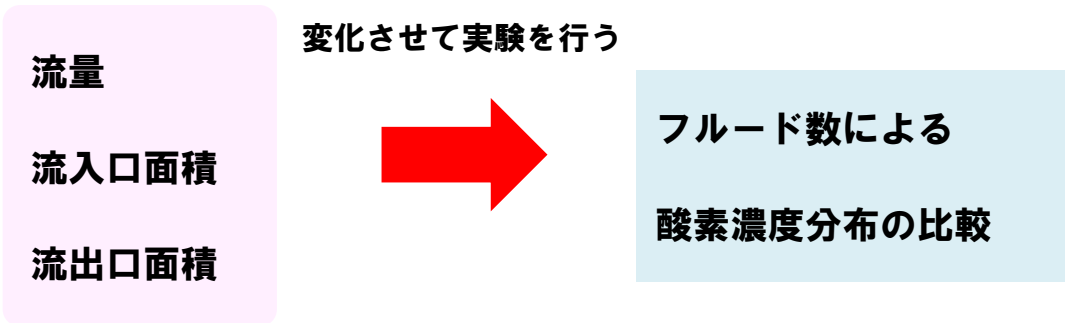
既往の研究から、注入流速を速くすることで浮力の影響を無視できることが確認されているが、浮力の影響を受ける注入条件と影響を受けない注入条件その境界は明らかになっていない。

1. 4 本研究の目的および構成

本研究では、密度差による空間内での挙動を明らかにするために、実験的な検討を行った。特に浮力と慣性力の関係を示すフルード数（ Fr 数）に着目し区画内における酸素濃度の均一化条件の分類を試みた。

また、区画の流出側開口の影響にも着目し、区画内の酸素濃度分布の確認を行った。さらに、 Fr 数に対する時間の相似性についても検証を行った。既往の研究では、換気回数 1 となる時間を無次元時間 1 と定義すると異なる流入量であっても Fr 数が同一であれば、区画内挙動は等しいことが確認されている。本研究においては、浮力の影響を受ける条件において同様の挙動を示すか検証した。

実際の火災を想定して理想的な流入条件をフルード数で評価



模型区画による検証

完全混合する境界条件は？

①フルード数を用いて区画の
高さ別の酸素濃度を比較

流出口の影響はないのか？

②フルード数を用いて同じ高さ
での
流出口面積別の酸素濃度を比較

フルード数（無次元数）が
相似則に使用できるのか

③フルード数を用いて
無次元時間での酸素濃度を比較

第2章 酸素濃度測定による浮力の影響検証

Fr 数による理想的な流入方法を評価するために、模型実験により高さ方向の酸素濃度の測定を行い、それぞれの流出口ダクトで Fr 数による境界条件を抽出する。

次に流出口の影響を受け、境界条件が変わる事を考慮しそれぞれの流出口 3種類 (5mm×5mm, 10mm×10mm, 20mm×20mm) をシリーズ別で評価した。この時、同じ流入条件で流出口を変化させたそれぞれのシリーズを比較、その誤差における検討を行った。

最終的に Fr 数を用いて、異なる流量を評価するために無次元時間での比較が可能であるかの検証を行った。

2.1 区画内の酸素濃度測定

注入した窒素富化空気が浮力の影響を受けると区画上部に窒素が停滞し、区画の上下で酸素濃度に差が生じると考えられたため、酸素濃度計を用いて区画内の高さ方向の酸素濃度を測定した。

2.1.1 実験条件

(1) 実験区画

表 2.1.1, 図 2.1.1 に示す区画を用いた。区画形状が酸素濃度分布に影響をおよぼさないようにするため立方体とした。区画内寸は、区画の一辺 580mm とし、全面を透明なアクリル板で作成した。

表 2.1.1 実験区画の概要

区画内寸		580mm×580mm×580mm (容積0.195m ³)
注入口	内寸	5mm×5mm×100mm
		10mm×10mm×100mm
		20mm×20mm×100mm
		30mm×30mm×100mm
		40mm×40mm×100mm
流出口	取り付け高さ	ダクト中心が床面から100mm
	内寸	5mm×5mm×100mm
		10mm×10mm×100mm
		20mm×20mm×100mm
取り付け高さ	ダクト中心が床面から480mm	

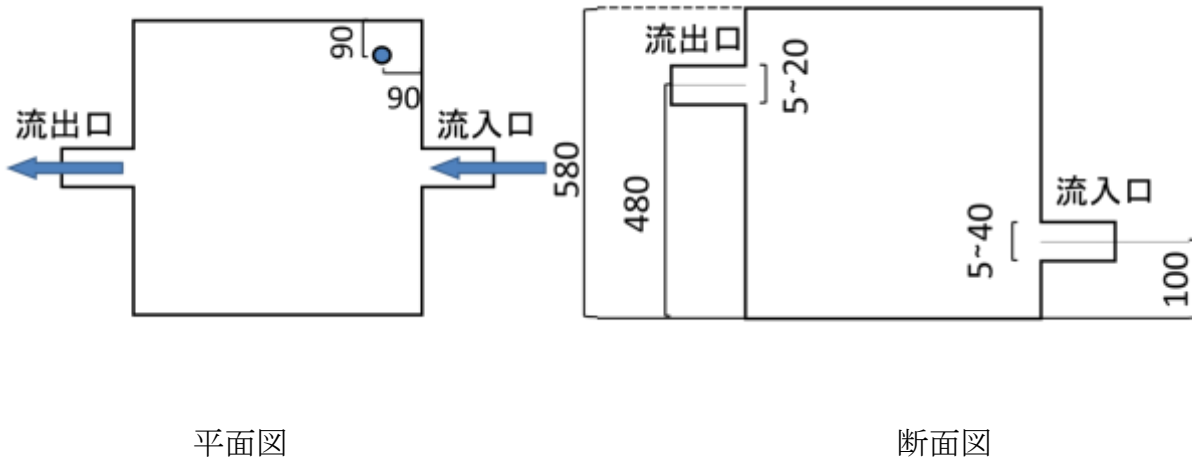


図 2.1.1 実験区画

(2) 注入流体の配管系統

注入流体の制御は、図 2.1.2 に示す配管系統を用い、流量制御には表 2.1.2 に示すマスフローコントローラーを用いた。

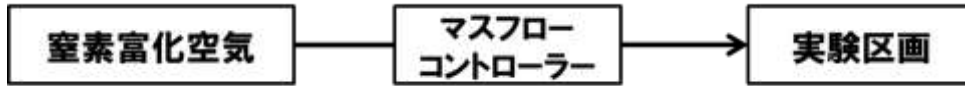


図 2.1.2 注入流体供給系統

表 2.1.2 マスフローコントローラーの仕様

	型式	メーカー
本体	SEC-E40 (0~30L/min 25°C)	堀場エステック
制御ユニット	PE-D20	堀場エステック

(3) 酸素濃度測定位置

窒素富化空気の注入による流動に直接的に影響をおよぼさず、浮力の影響を評価できるように図 2.1.3 に示すに示す注入側面から 90mm、壁面から 90mm の位置の床面から 50, 210, 370, 530mm (H50, H210, H370, H530 と表記) の 4 点の酸素濃度を測定。

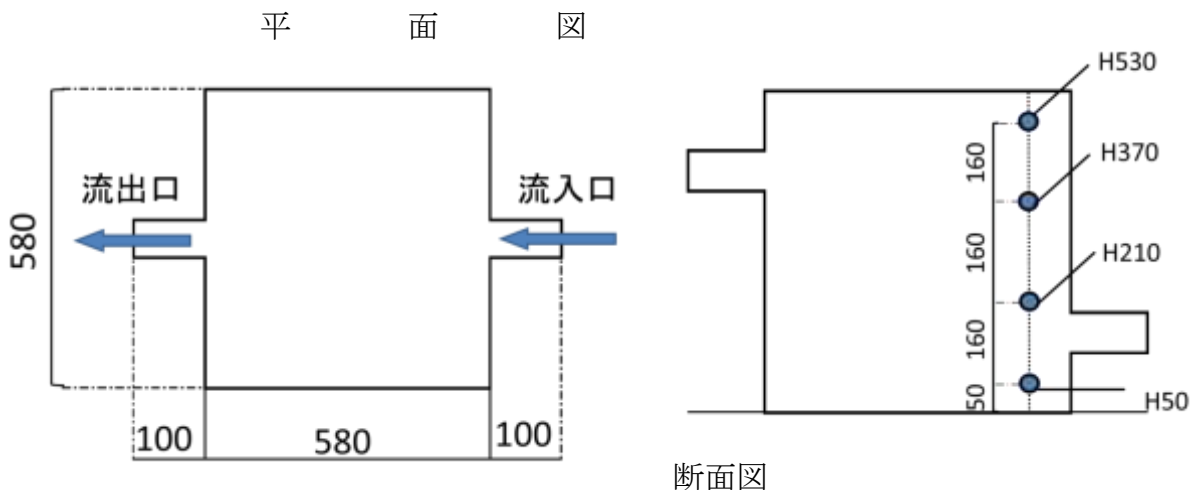


図 2.1.3 酸素濃度測定位置

(4) 計測機器

実験に用いた計測機器の仕様を表 2.1.3 に示す。

表 2.1.3 計測機器

	メーカー	型式	計測間隔
データロガー	横河電機	MX100	—
酸素濃度計	ジコー	JKO-O2LD3 (測定範囲0%~25%, 分解能0.1%)	1秒

(5) 窒素濃度

注入する窒素富化空気の窒素濃度は、空気との密度差が最大になる条件の現象を確認するため、本実験では窒素濃度 99.99%の窒素ボンベを使用した。

(6) フルード数 (Fr 数)

フルード数とは、慣性力と浮力の比を表す無次元数である。これより慣性力が浮力より大きくなればフルード数も大きくなり、浮力の影響も受けにくくなる。 Fr 数は、代表長さ L_{in} を断面形状の 1 辺の長さ、代表速度 U_{in} を区画内への流入流速とすると、式(1)により算出される。

$$Fr = \frac{U_{in}}{\sqrt{L \times g \times (\rho_0 - \rho_{NEA}) / \rho_0}} \quad (1)$$

ここに

U_{in}	: 代表速度	(m/s)
L	: 代表長さ	(m)
g	: 重力加速度	(m/s ²)
ρ_{NEA}	: 注入窒素密度	(kg/m ³)
ρ_0	: 区画内初期密度	(kg/m ³)

(7) 実験条件

表 2.1.4 に実験条件を示す。

表 2.1.4 実験条件

実験No	流入口	流出口	流量	Fr数
	[mm × mm]	[mm × mm]	[L/min]	
A-01	5 × 5	5 × 5	5.0	83.38
A-02	10 × 10	5 × 5	5.0	14.74
A-03	10 × 10	5 × 5	3.0	8.84
A-04	20 × 20	5 × 5	15.0	7.88
A-05	20 × 20	5 × 5	10.0	5.21
A-06	20 × 20	5 × 5	8.0	4.17
A-07	20 × 20	5 × 5	5.0	2.61
A-08	30 × 30	5 × 5	8.0	1.51
A-09	30 × 30	5 × 5	5.0	0.95
A-10	40 × 40	5 × 5	5.0	0.46
B-01	5 × 5	10 × 10	10.0	166.76
B-02	5 × 5	10 × 10	3.0	50.10
B-03	10 × 10	10 × 10	5.0	14.78
B-04	10 × 10	10 × 10	3.0	8.84
B-05	10 × 10	10 × 10	2.0	5.90
B-06	20 × 20	10 × 10	8.0	4.17
B-07	20 × 20	10 × 10	5.0	2.61
B-08	20 × 20	10 × 10	3.0	1.56
B-09	30 × 30	10 × 10	5.0	0.95
B-10	40 × 40	10 × 10	5.0	0.46
C-01	40 × 40	20 × 20	10.0	29.48
C-02	10 × 10	20 × 20	3.0	17.69
C-03	10 × 10	20 × 20	5.0	11.79
C-04	20 × 20	20 × 20	3.0	8.84
C-05	20 × 20	20 × 20	10.0	5.21
C-06	20 × 20	20 × 20	8.0	4.17
C-07	20 × 20	20 × 20	5.0	2.61
C-08	20 × 20	20 × 20	8.0	1.56
C-09	40 × 40	20 × 20	10.0	0.92
C-10	40 × 40	20 × 20	5.0	0.46

2. 1. 2 実験結果

実験結果を図 2.1.4~2.1.34 に示す。

(1) シリーズ A 流出口 5 mm × 5 mm

シリーズ A において図 2.1.6(Fr 数 8.84)以上で均一に酸素濃度が低下している
図 2.1.7(Fr 数 7.88)以下では不均一に酸素濃度低下していることが確認された。

シリーズ A において

A-01,A-02,A-03 (Fr 数 8.84 以上) の時高さ 4 点の酸素濃度が均一に低下し,
A-04~A-09 では最下点 H50 の酸素濃度が他 3 点と不均一に低下している。
A-10 については全ての位置で酸素濃度が不均一に低下していることから区画内
で気体が成層化している事が分かる。

これをシリーズ A で評価すると

- A- Fr 数 ≥ 8.84 (酸素濃度が均一)
 - $8.84 > A- Fr 数 ≥ 0.95 (H50 を除く酸素濃度が均一)$
 - $0.95 > A- Fr 数$ (酸素濃度が不均一)
- となる。

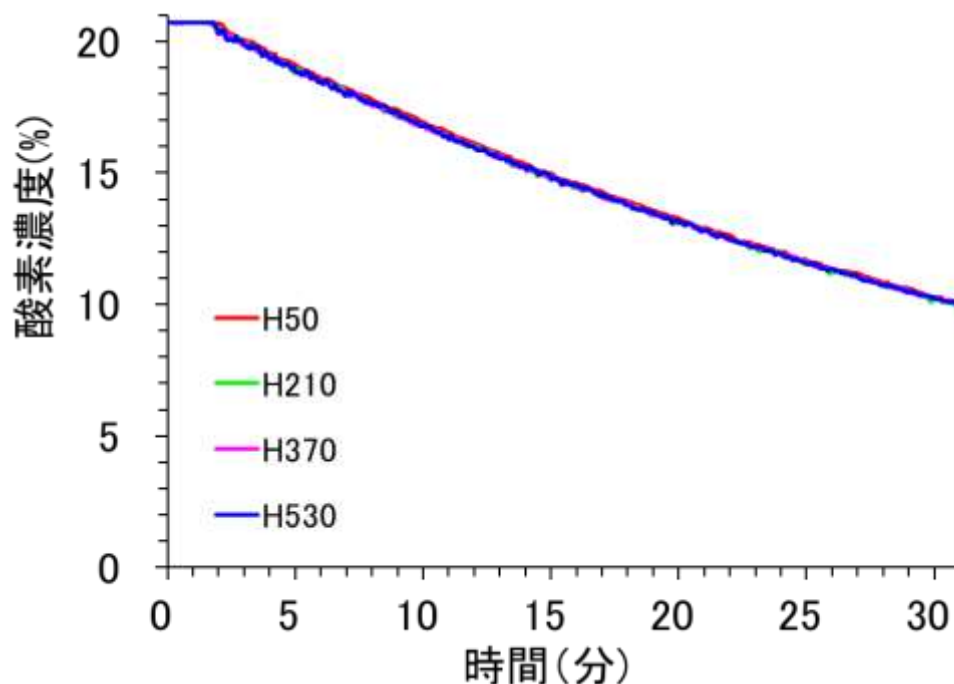


図 2.1.4 酸素濃度測定 (No.A-01)

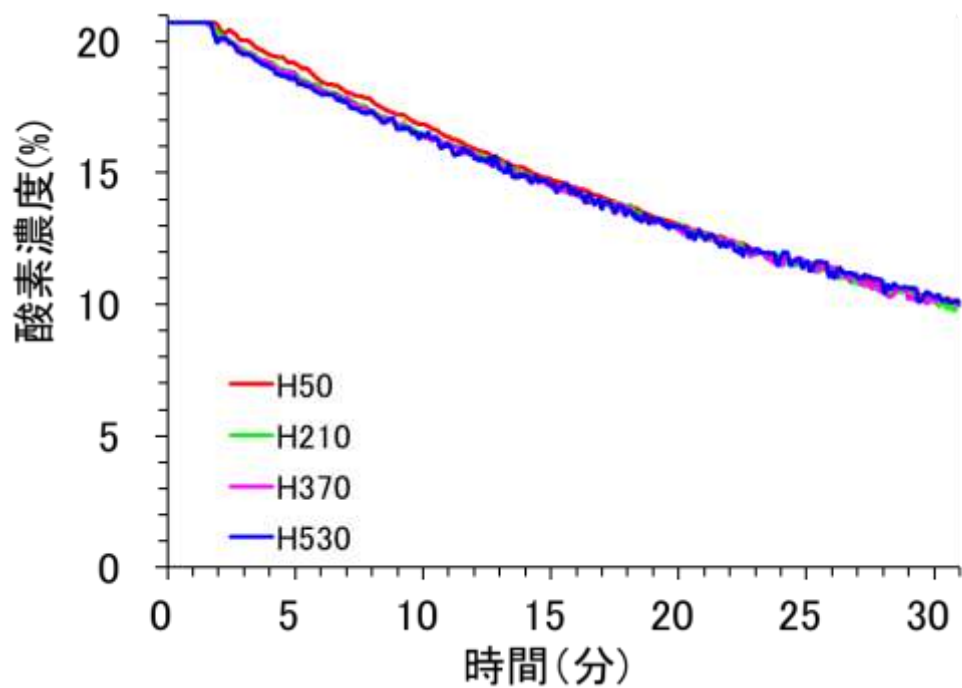


図 2.1.5 酸素濃度測定 (No.A-02)

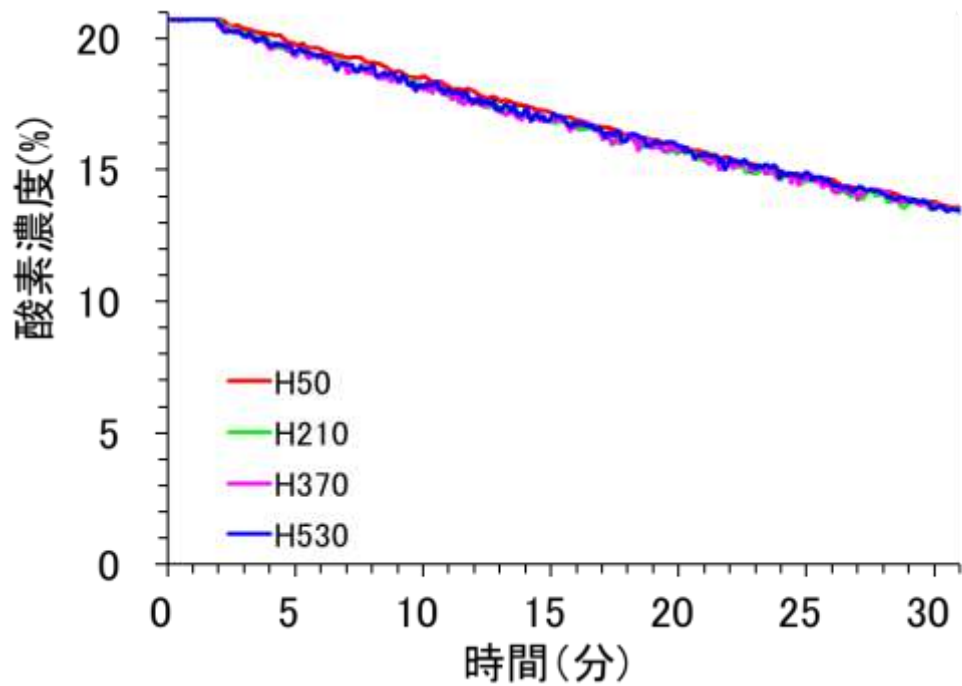


図 2.1.6 酸素濃度測定 (No.A-03)

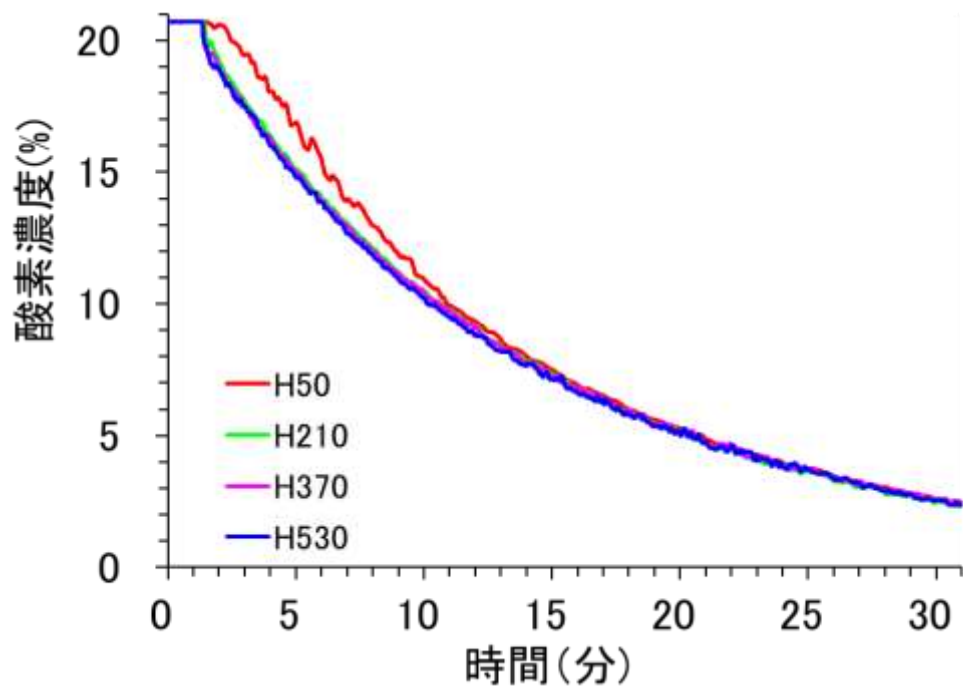


图 2.1.7 酸素濃度測定 (No.A-04)

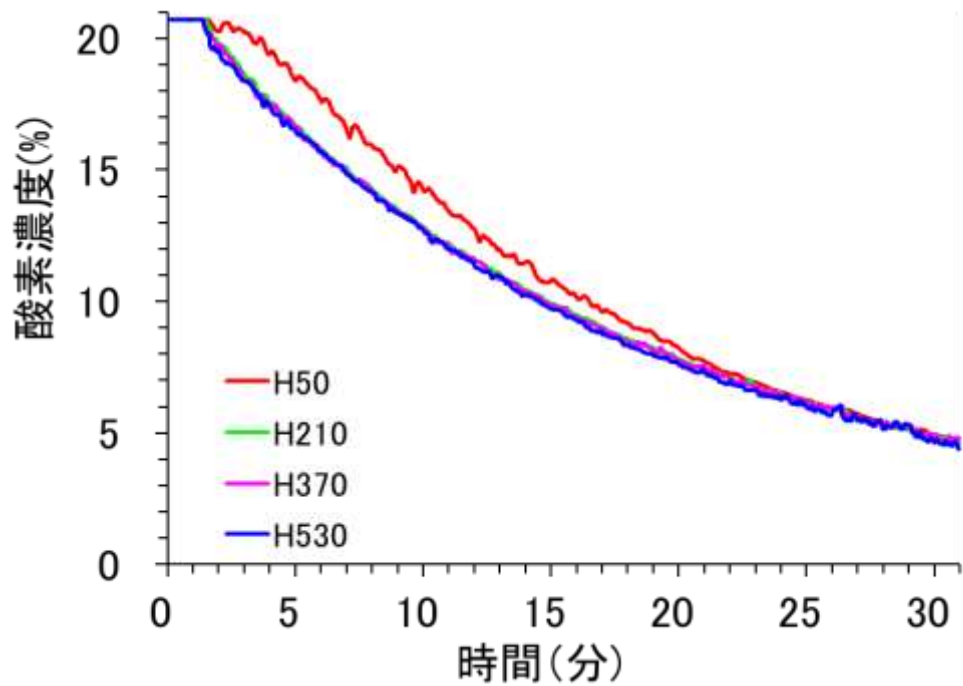


图 2.1.8 酸素濃度測定 (No.A-05)

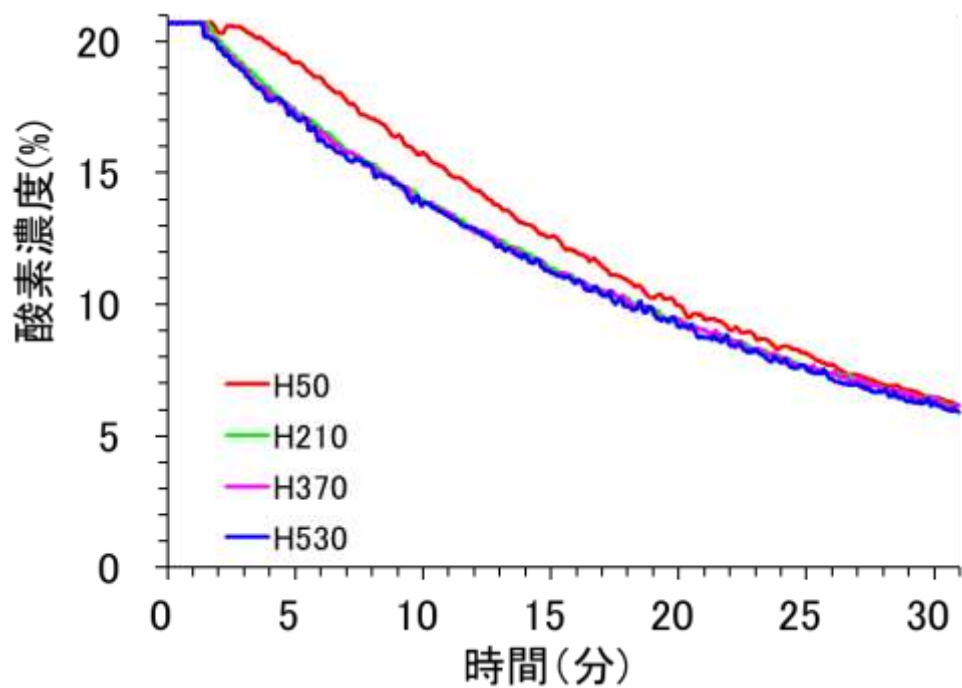


図 2.1.9 酸素濃度測定 (No.A-06)

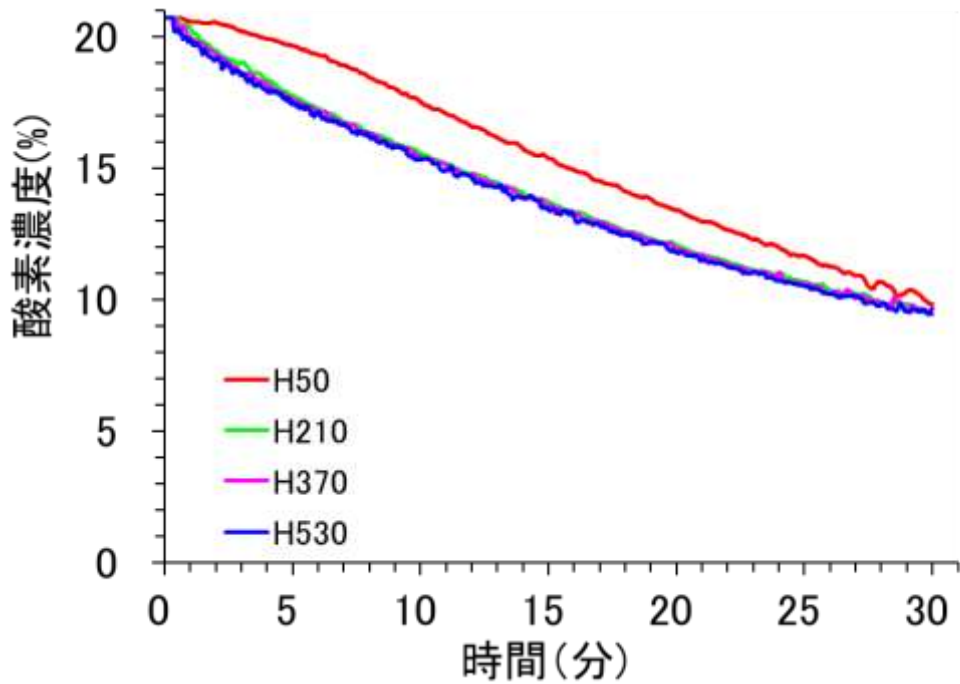


図 2.1.10 酸素濃度測定 (No.A-07)

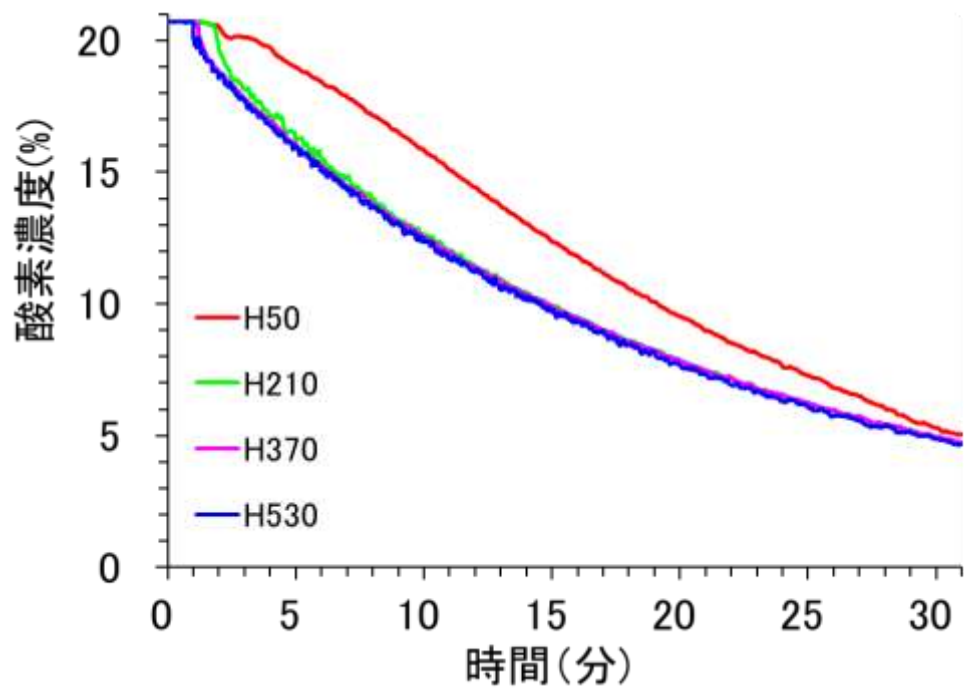


図 2.1.11 酸素濃度測定 (No.A-08)

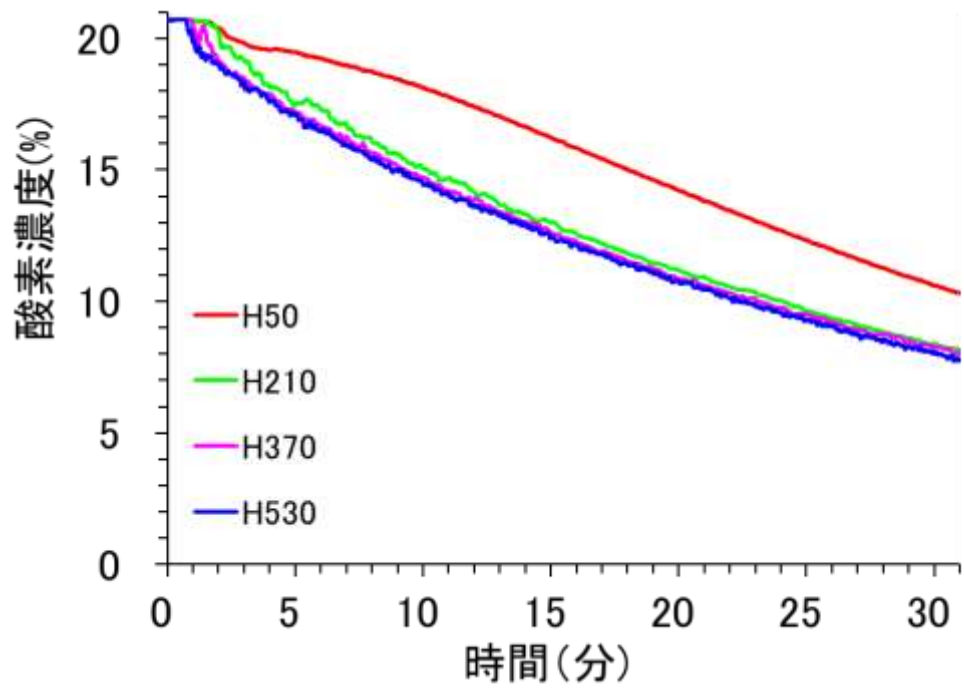


図 2.1.12 酸素濃度測定 (No.A-09)

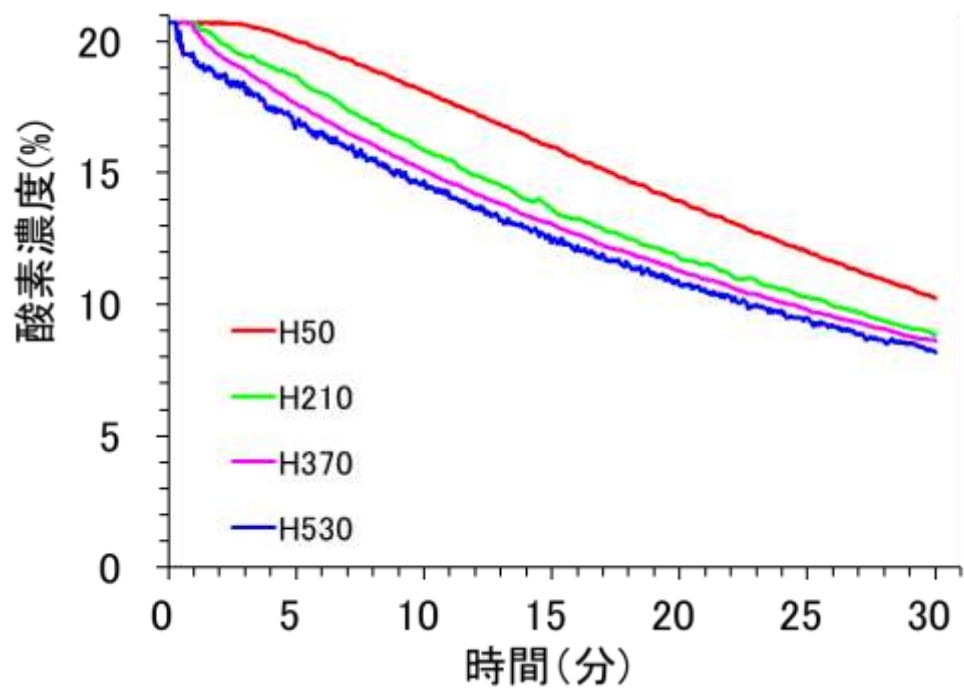


圖 2.1.13 酸素濃度測定 (No.A-10)

(2) シリーズ B 流出口 10 mm × 10 mm

シリーズ B において図 2.1.16(Fr 数 8.84)以上で均一に酸素濃度が低下している
図 2.1.17(Fr 数 5.90)以下では不均一に酸素濃度低下していることが確認された。

シリーズ B において

B-01,B-02,B-03,B-04 (Fr 数 8.84 以上) の時高さ 4 点の酸素濃度が均一に低下し、

B-05,B-06 では最下点 H50 の酸素濃度が他 3 点と不均一に低下している。

B-07,B-08 では H50,H210 と上部 2 点と異なる低下をしており、

B-09,B-10 については全ての位置で酸素濃度が不均一に低下していることから
区画内

で気体が成層化している事が分かる。

これをシリーズ B で評価すると

B·Fr 数 ≥ 8.84 (酸素濃度が均一)

$8.84 > B \cdot Fr$ 数 ≥ 4.17 (H50 を除く酸素濃度が均一)

$4.17 > B \cdot Fr$ 数 ≥ 1.56 (H50,H210 を除く酸素濃度が均一)

$1.56 > B \cdot Fr$ 数 (酸素濃度が不均一)

となる。

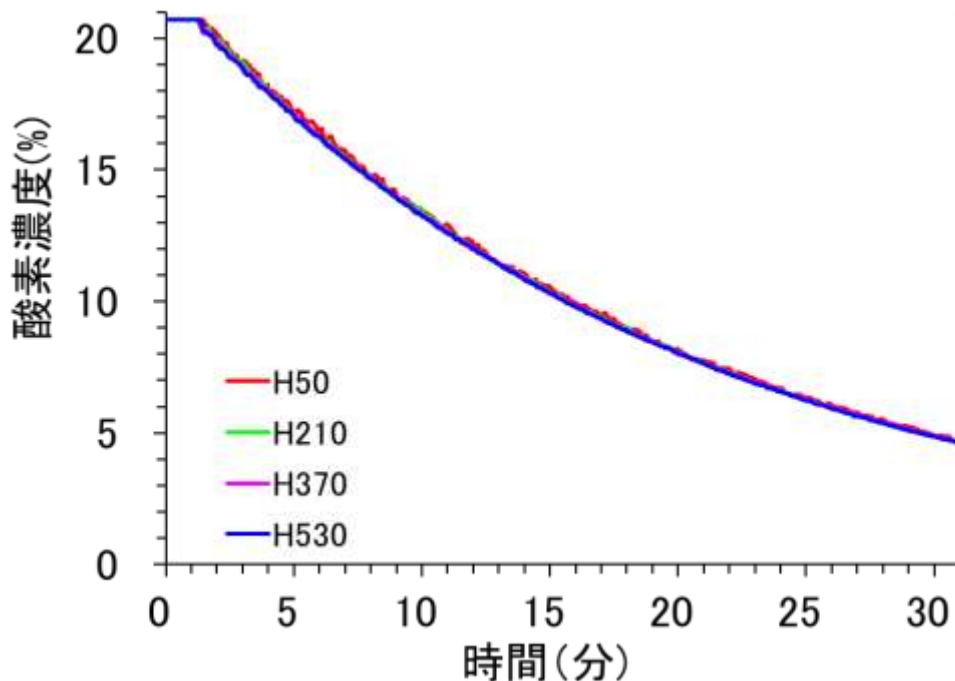


図 2.1.14 酸素濃度測定 (No.B-1)

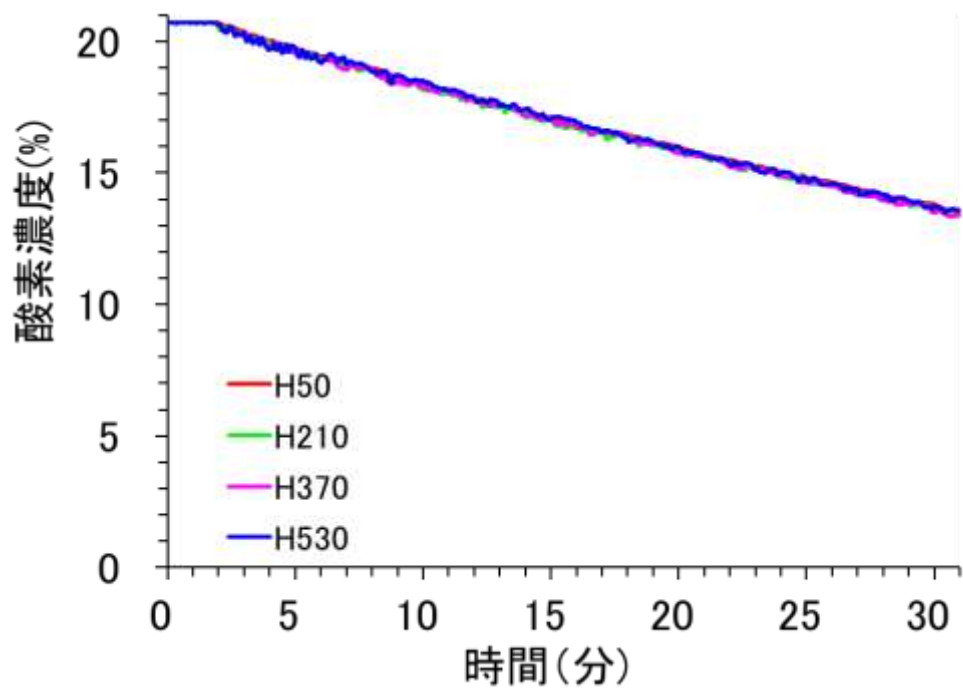


図 2.1.15 酸素濃度測定 (No.B-02)

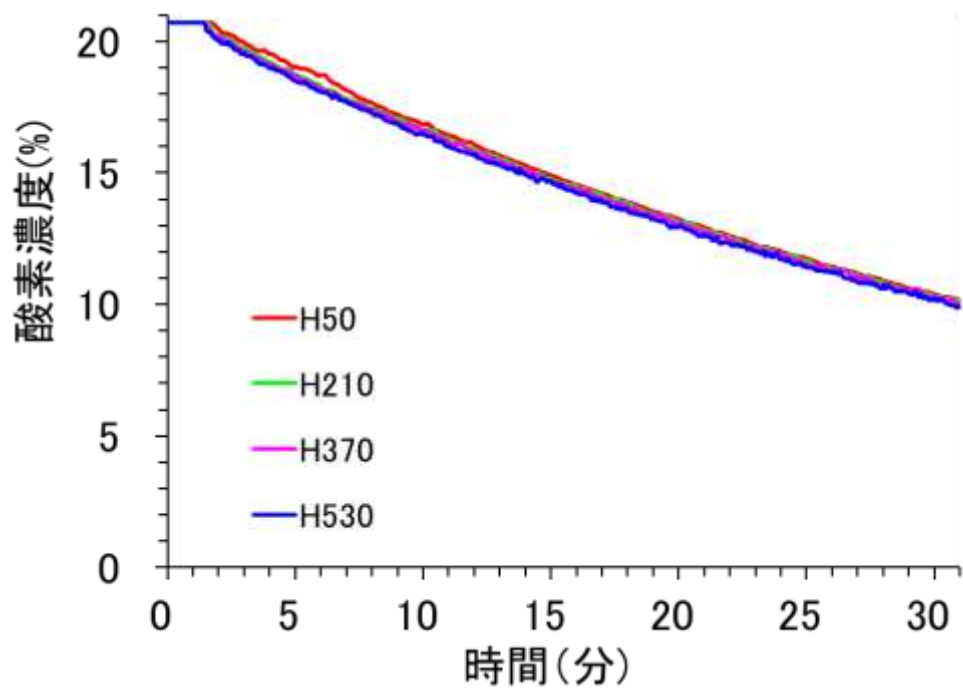


図 2.1.16 酸素濃度測定 (No.B-03)

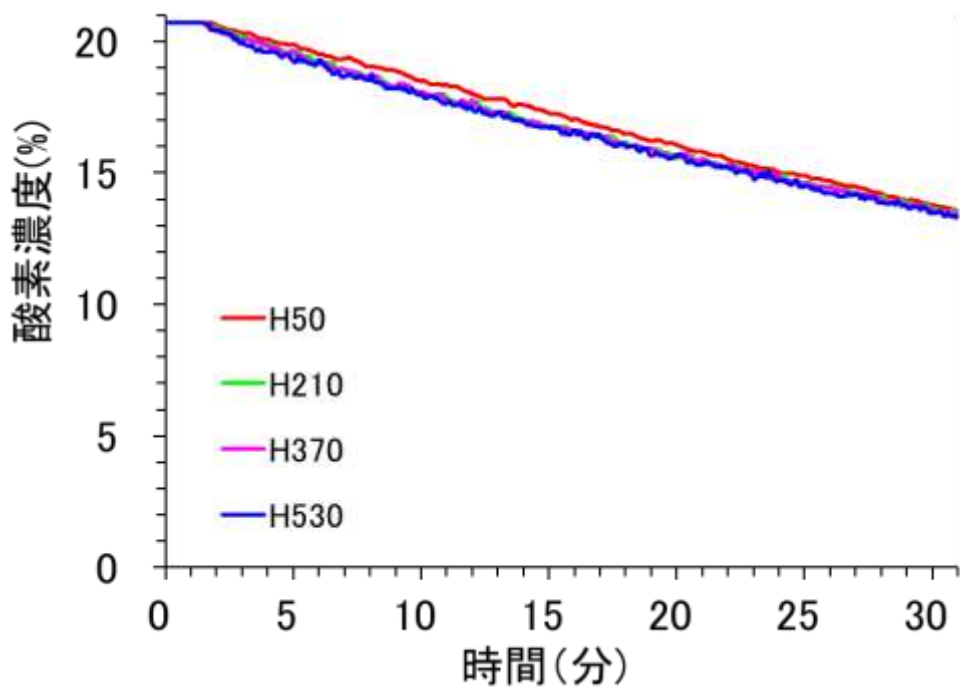


図 2.1.17 酸素濃度測定 (No.B-04)

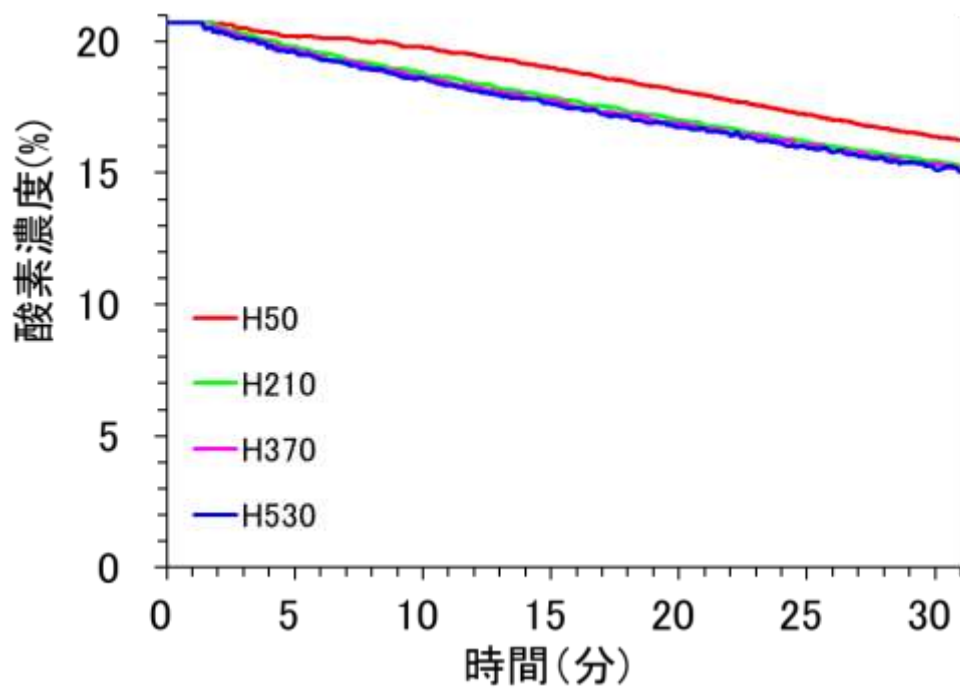


図 2.1.18 酸素濃度測定 (No.B-05)

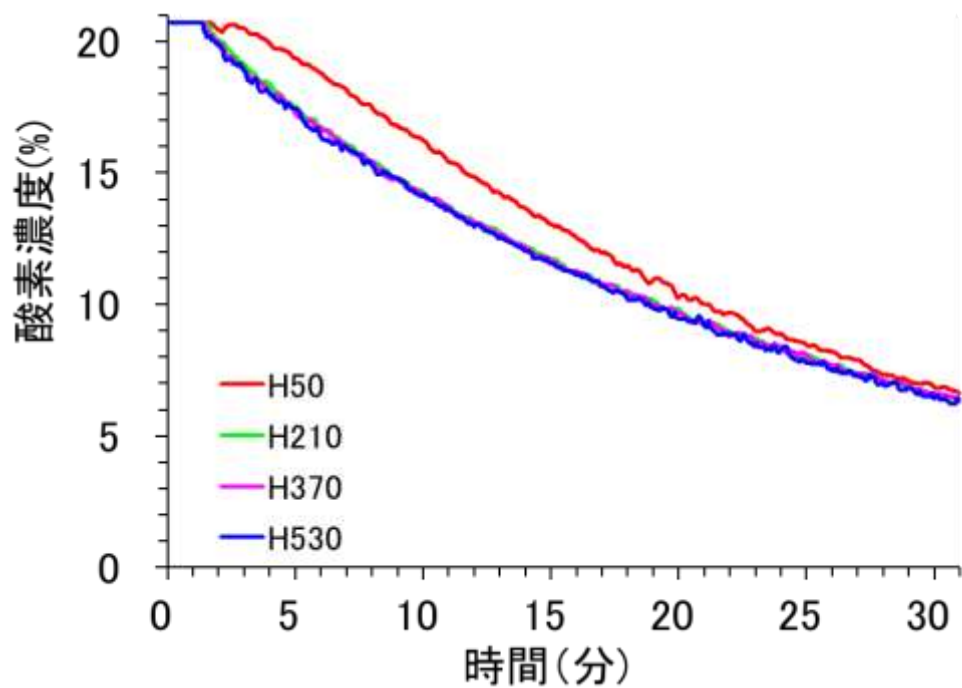


図 2.1.19 酸素濃度測定 (No.B-06)

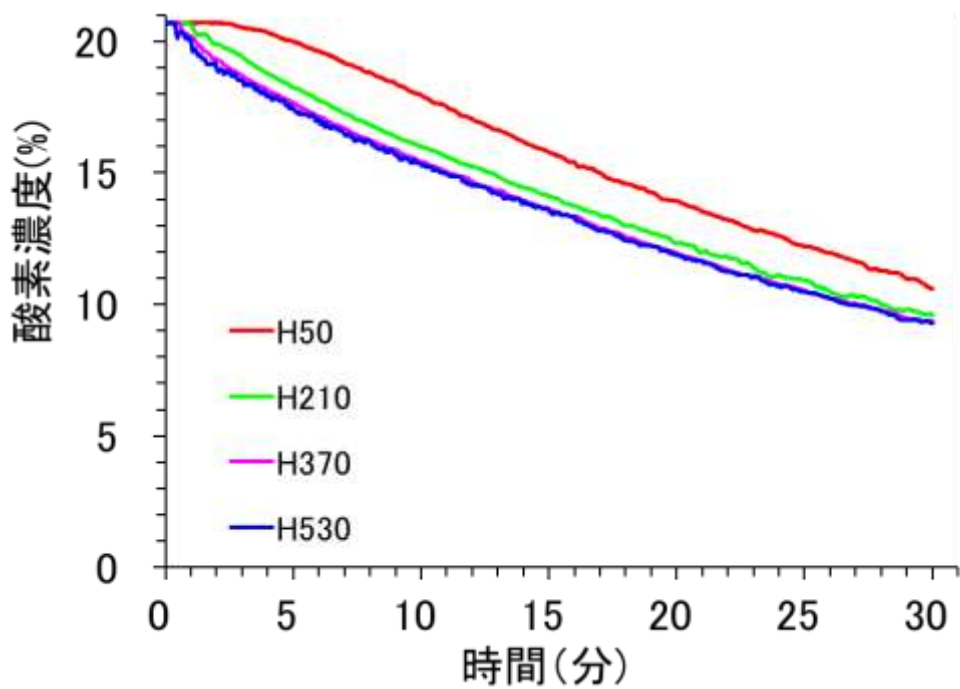


図 2.1.20 酸素濃度測定 (No.B-07)

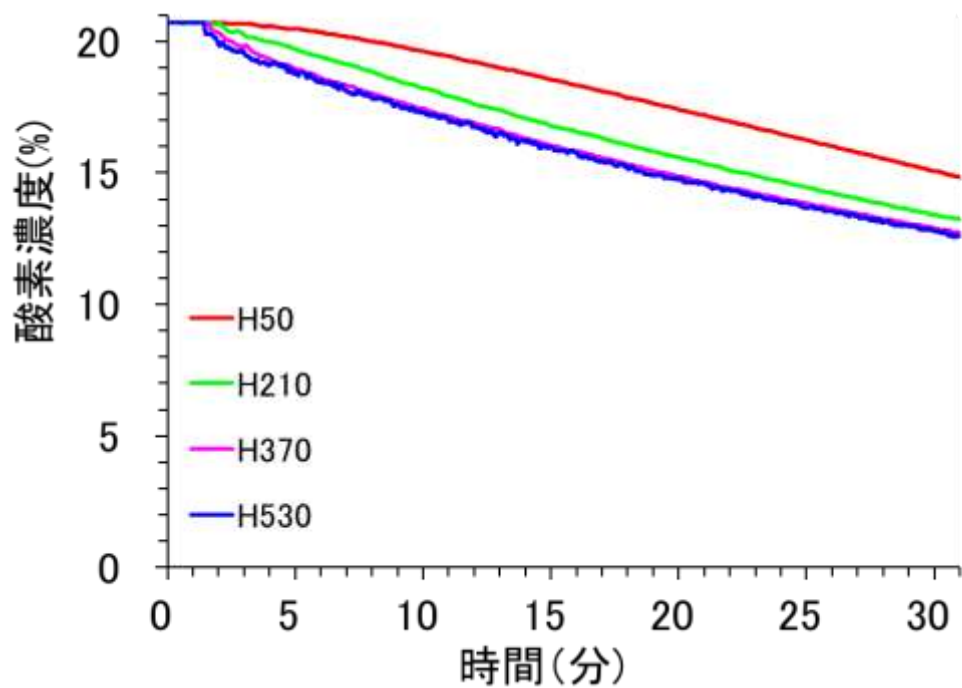


図 2.1.21 酸素濃度測定 (No.B-08)

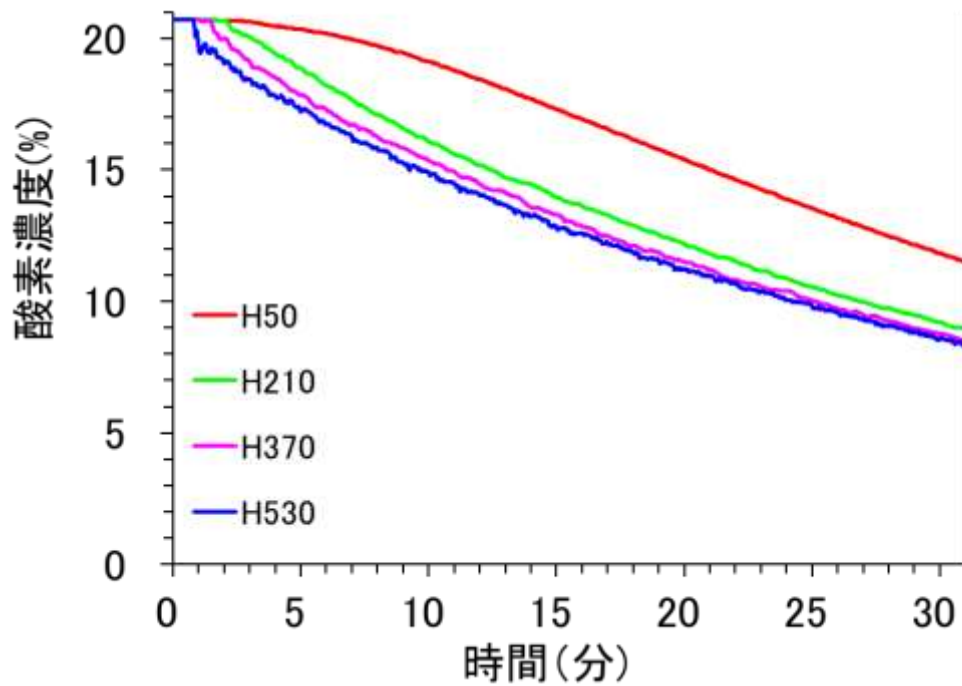


図 2.1.22 酸素濃度測定 (No.B-09)

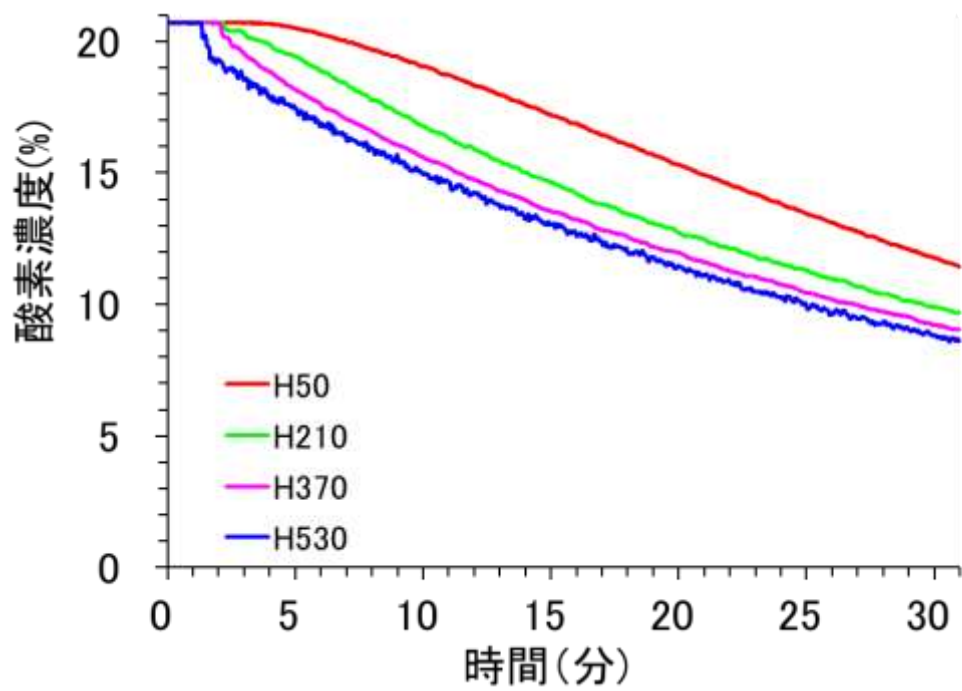


図 2.1.23 酸素濃度測定 (No.B-10)

(3) シリーズ C 流出口 20mm×20mm

シリーズ C において図 2.1.27(Fr 数 8.84)以上で均一に酸素濃度が低下している
図 2.1.28(Fr 数 5.21)以下では不均一に酸素濃度低下していることが確認された。

シリーズ C において

C-01,C-02,C-03,C-04 (Fr 数 8.84 以上) の時高さ 4 点の酸素濃度が均一に低下し、

C-05,C-06,C-07 では最下点 H50 の酸素濃度が他 3 点と不均一に低下している。

C-08 では H50,H210 と上部 2 点と異なる低下をしており、

C-09,C-10 については全ての位置で酸素濃度が不均一に低下していることから
区画内

で気体が成層化している事が分かる。

これをシリーズ C で評価すると

C-Fr 数 \geq 8.84 (酸素濃度が均一)

8.84 > C-Fr 数 \geq 2.61 (H50 を除く酸素濃度が均一)

2.61 > C-Fr 数 \geq 1.56 (H50,H210 を除く酸素濃度が均一)

1.56 > C-Fr 数 (酸素濃度が不均一)

となる。

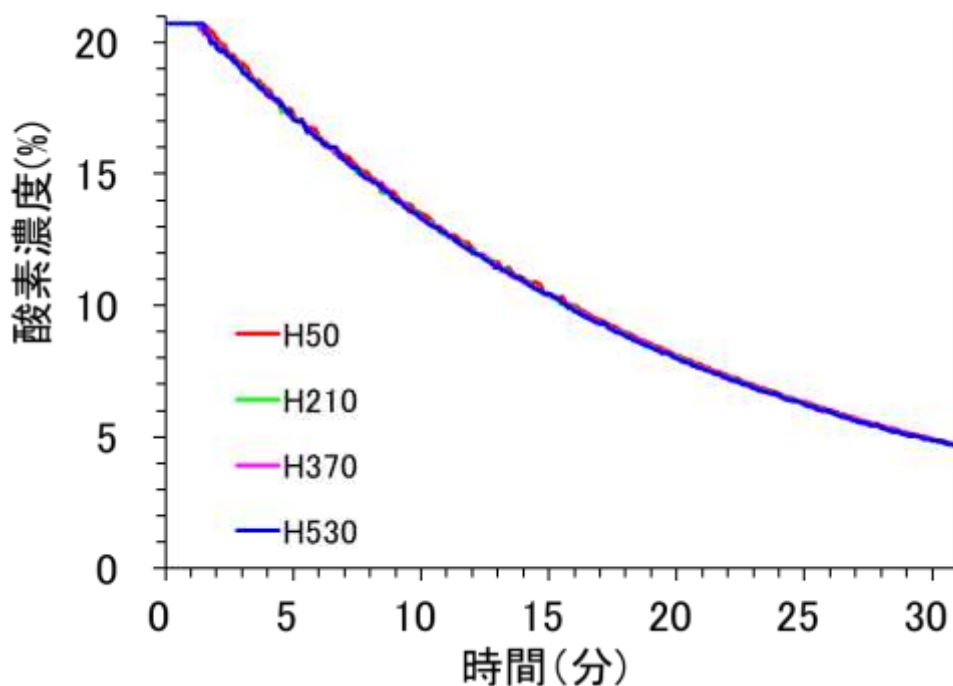


図 2.1.24 酸素濃度測定 (No.C-01)

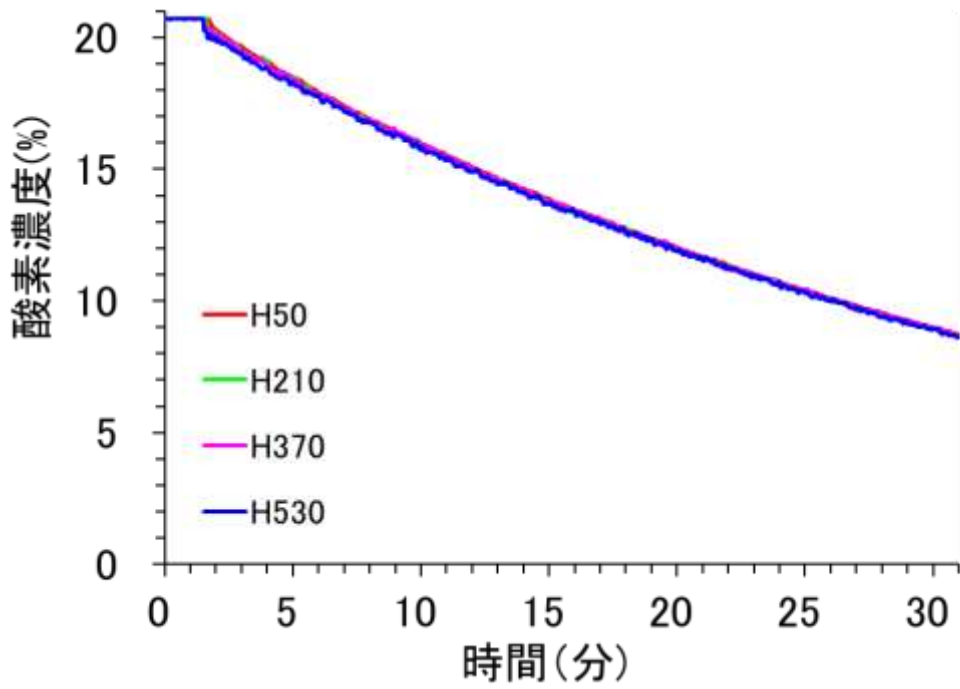


図 2.1.25 酸素濃度測定 (No.C-02)

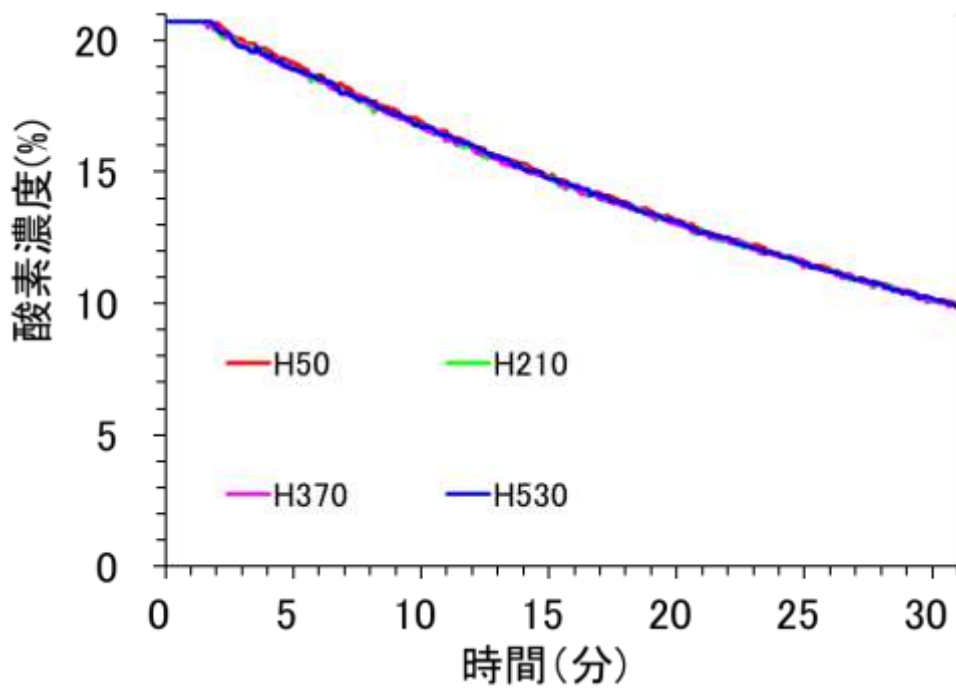


図 2.1.26 酸素濃度測定 (No.C-03)

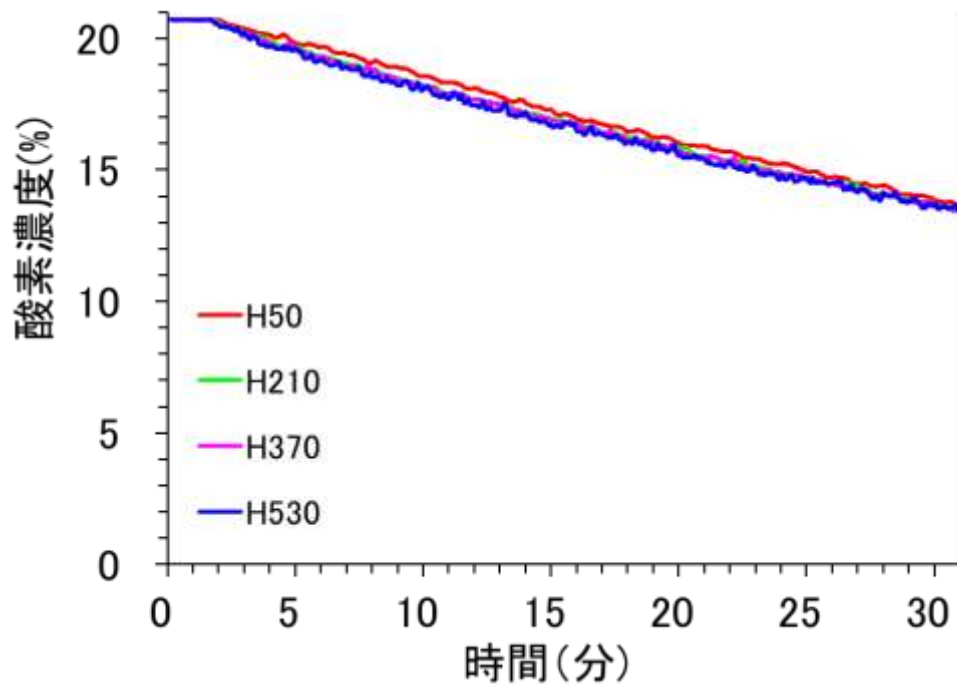


図 2.1.27 酸素濃度測定 (No.C-04)

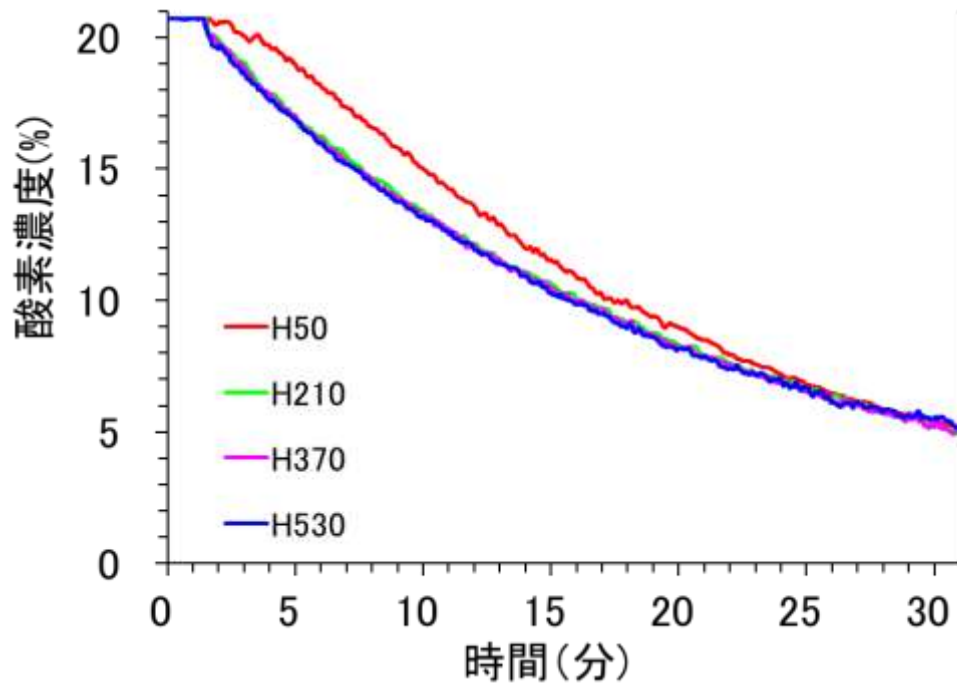


図 2.1.28 酸素濃度測定 (No.C-05)

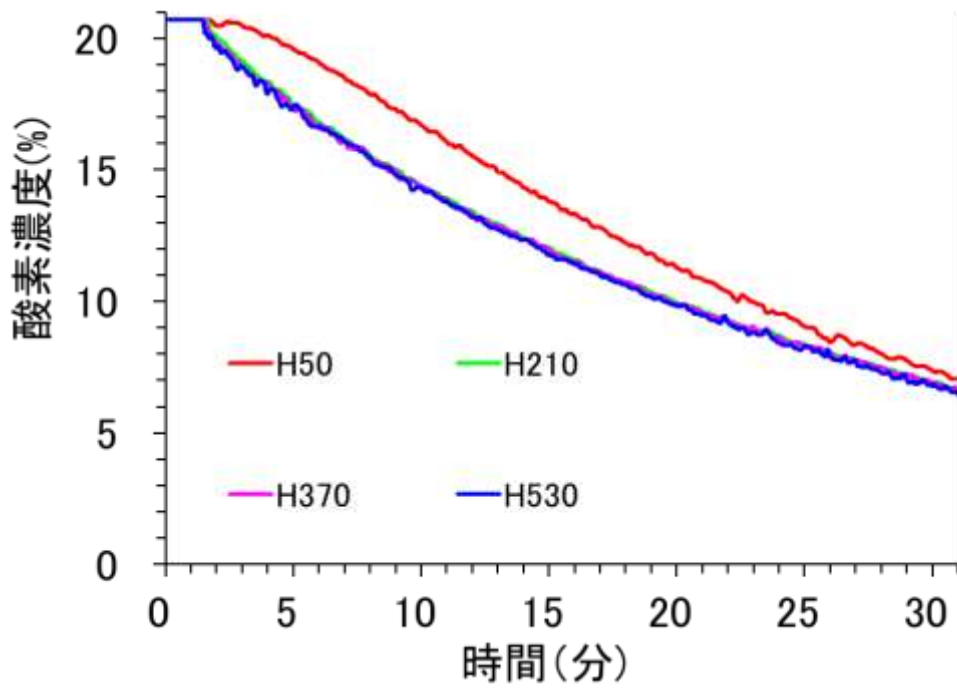


図 2.1.29 酸素濃度測定 (No.C-06)

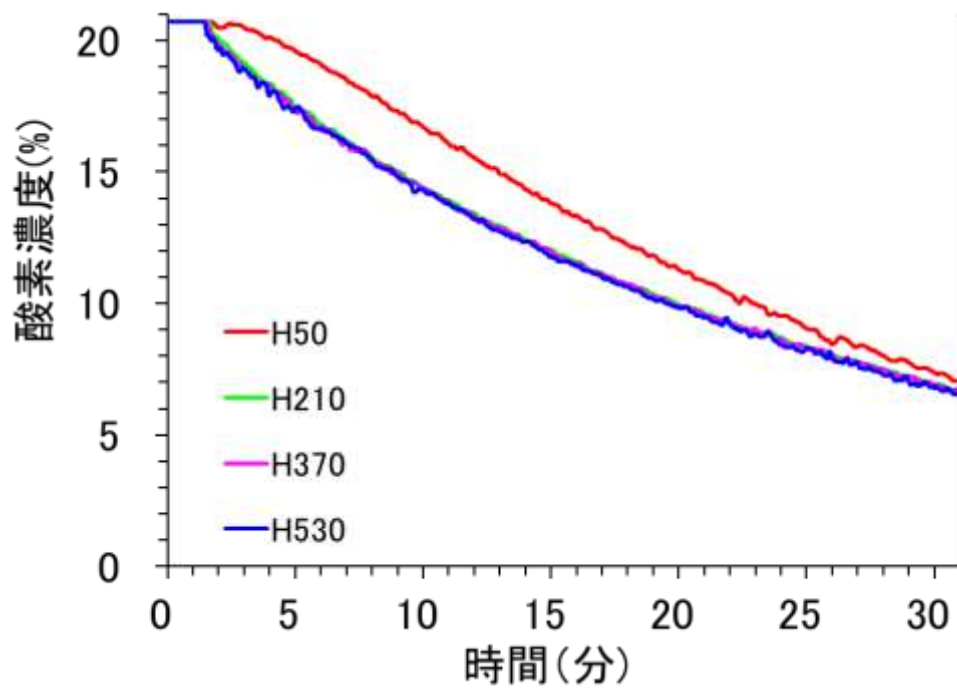


図 2.1.30 酸素濃度測定 (No.C-07)

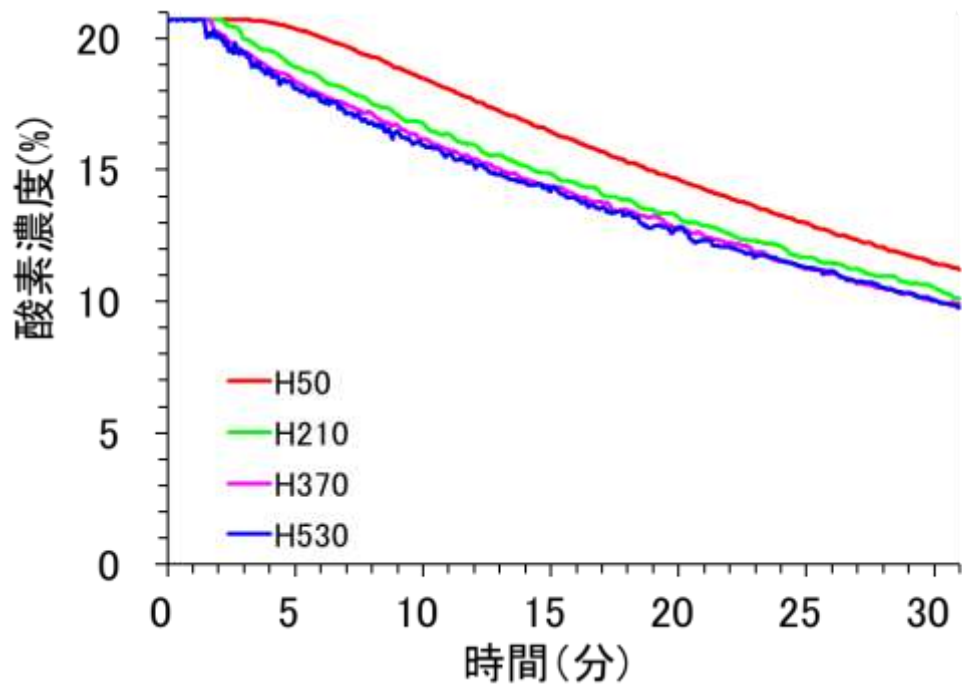


図 2.1.31 酸素濃度測定 (No.C-08)

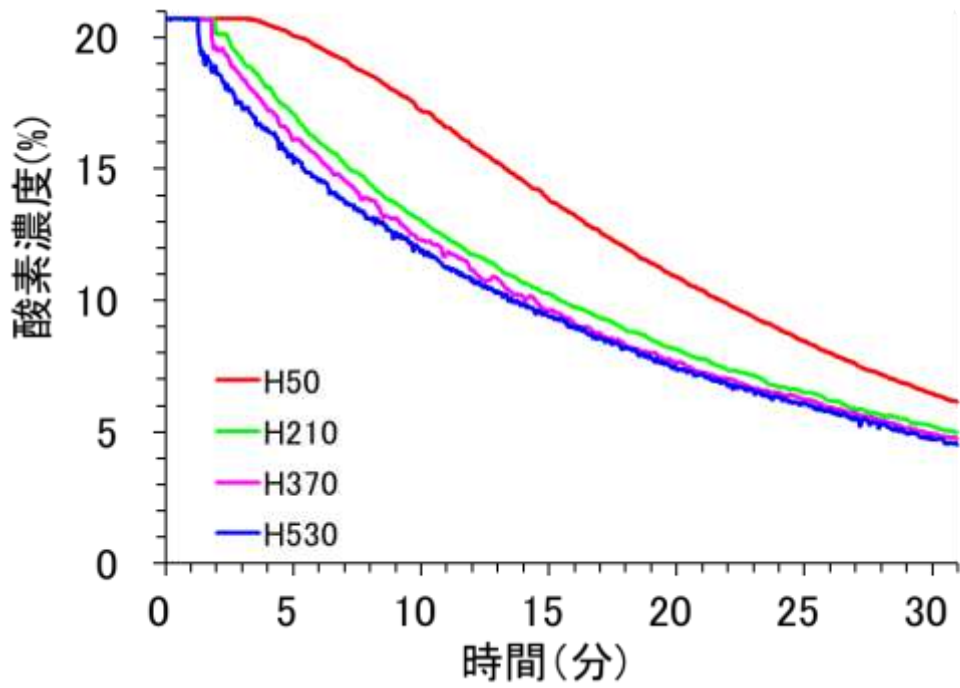


図 2.1.31 酸素濃度測定 (No.C-09)

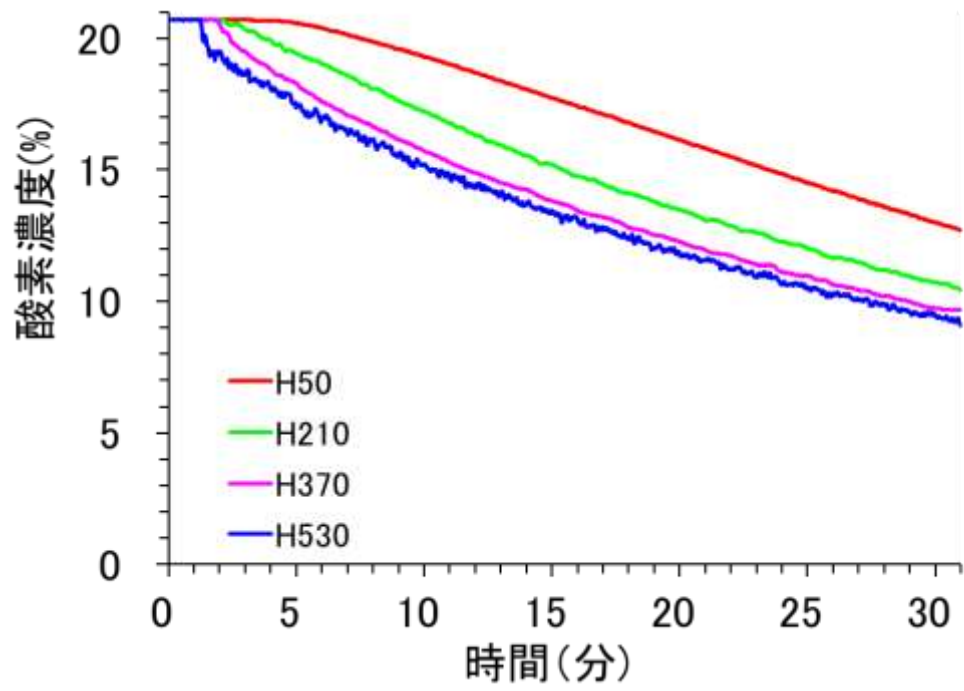


図 2.1.32 酸素濃度測定 (No.C-10)

2. 1. 3 考察

Fr 数による浮力の影響

Fr 数による境界条件を確認するために、流出口面積別でそれぞれ *Fr* 数を変化させて窒素を注入した結果以下のことがわかった

①今回実施した条件では、3種類の流出口面積の時全ての条件でフルード数が小さくなることで浮力の影響をうけている事が確認できる

②*Fr* 数が 8.84 であれば流出口の影響を受けず、区画内の酸素濃度分布はほぼ均一となった。また *Fr* 数が 8.84 以下であれば、酸素濃度分布は均一化することとはなかった。

シリーズ A	シリーズ B	シリーズ C
(酸素濃度が均一)		
A- <i>Fr</i> 数 ≥ 8.84	B- <i>Fr</i> 数 ≥ 8.84	C- <i>Fr</i> 数 ≥ 8.84
(H50 を除く酸素濃度が均一)		
$8.84 > A-Fr 数 \geq 0.95$	$8.84 > B-Fr 数 \geq 4.17$	$8.84 > C-Fr 数 \geq 2.61$
(H50, H210 を除く酸素濃度が均一)		
	$4.17 > B-Fr 数 \geq 1.56$	$2.61 > C-Fr 数 \geq 1.56$
(酸素濃度が不均一)		
$0.95 > A-Fr 数$	$1.56 > B-Fr 数$	$1.56 > C-Fr 数$

③このように流出口を変化させたシリーズでは酸素濃度が均一にならない時、流出口の影響で評価が異なる事がわかる。

例えば *Fr* 数 = 2.00 の時

シリーズ A では H50 を除く酸素濃度が均一となり。

シリーズ B では H50, H210 を除く酸素濃度が均一になり、

シリーズ C の時酸素濃度は不均一となる。

これより流出口の影響について検証を行う。

2. 2 流出口面積の影響

同一の Fr 数、流入条件で流出口面積を変化させて比較を行った。
その際高さごとの酸素濃度を比較しその差について検討を行う。

2. 2. 1 実験条件

表 2.2.1 に実験条件を示す

表 2.2.1 実験条件

実験No	流入口	流出口	流量	Fr 数
	[mm × mm]	[mm × mm]	[L/min]	
A-01	5 × 5	5 × 5	5.0	83.38
B-11	5 × 5	5 × 5	5.0	83.38
C-11	5 × 5	5 × 5	5.0	83.38
A-03	10 × 10	5 × 5	3.0	8.84
B-04	10 × 10	10 × 10	3.0	8.84
C-04	20 × 20	20 × 20	3.0	8.84
A-06	20 × 20	5 × 5	8.0	4.17
B-06	20 × 20	10 × 10	8.0	4.17
C-06	20 × 20	20 × 20	8.0	4.17
A-05	20 × 20	5 × 5	10.0	5.21
B-12	20 × 20	10 × 10	10.0	5.21
C-12	20 × 20	20 × 20	10.0	5.21
A-07	20 × 20	5 × 5	5.0	2.61
B-07	20 × 20	10 × 10	5.0	2.61
C-07	20 × 20	20 × 20	5.0	2.61
A-10	40 × 40	5 × 5	5.0	0.46
B-10	40 × 40	10 × 10	5.0	0.46
C-10	40 × 40	20 × 20	5.0	0.46

2. 2. 2 実験結果

それぞれの高さ別の実験結果を図 2.2.1~2.2.12 に示す。

2.1 で考察した流出口の影響をそれぞれの高さで酸素濃度を比較することにより、 Fr 数でそれぞれの高さ位置での酸素濃度の差を検討した。

(1) 流出口の影響の有無

流出口面積を変化させ、6 種類の Fr 数で比較する。

2.1 では Fr 数別で 4 点の高さの酸素濃度を比較したところ流出口(シリーズ)では酸素濃度分布に変化が現れた。

そこで同じ高さでの差を見ることにより流出口の影響の境界条件も抽出する。

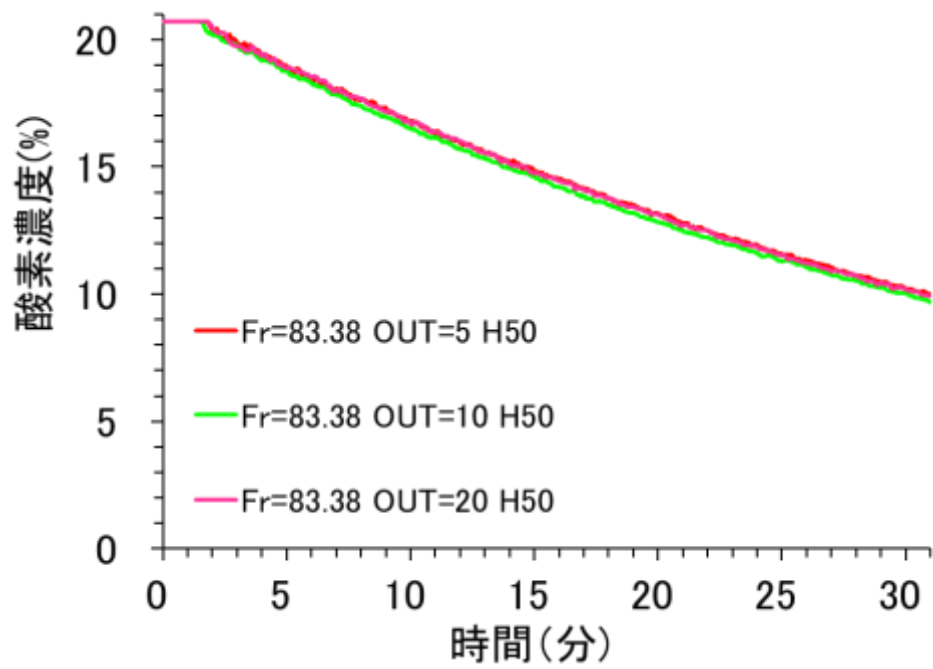
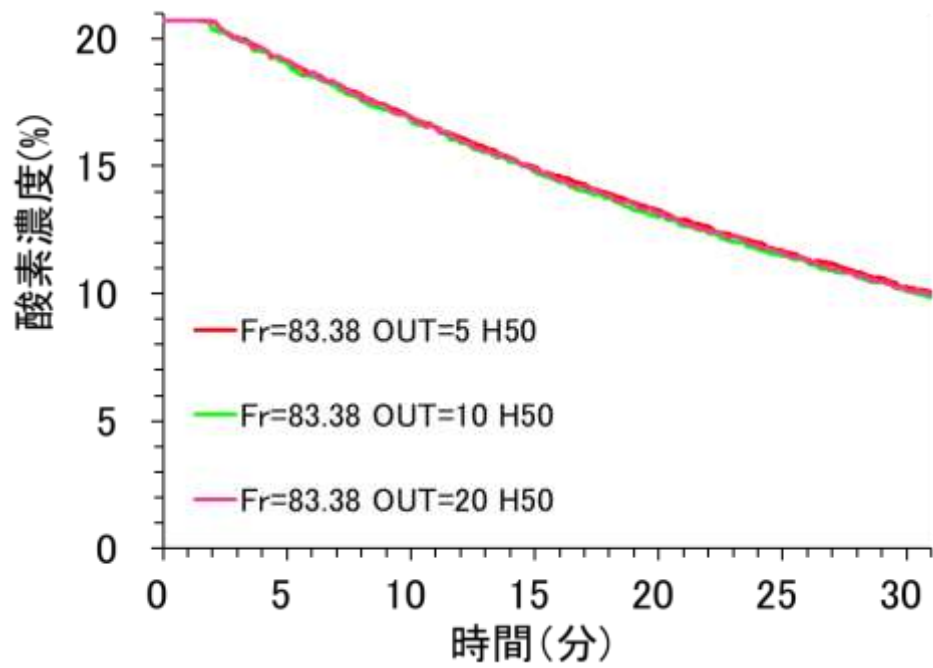


图 2.1.1 流出口別酸素濃度測定 (No.A-01, B-11, C-11)

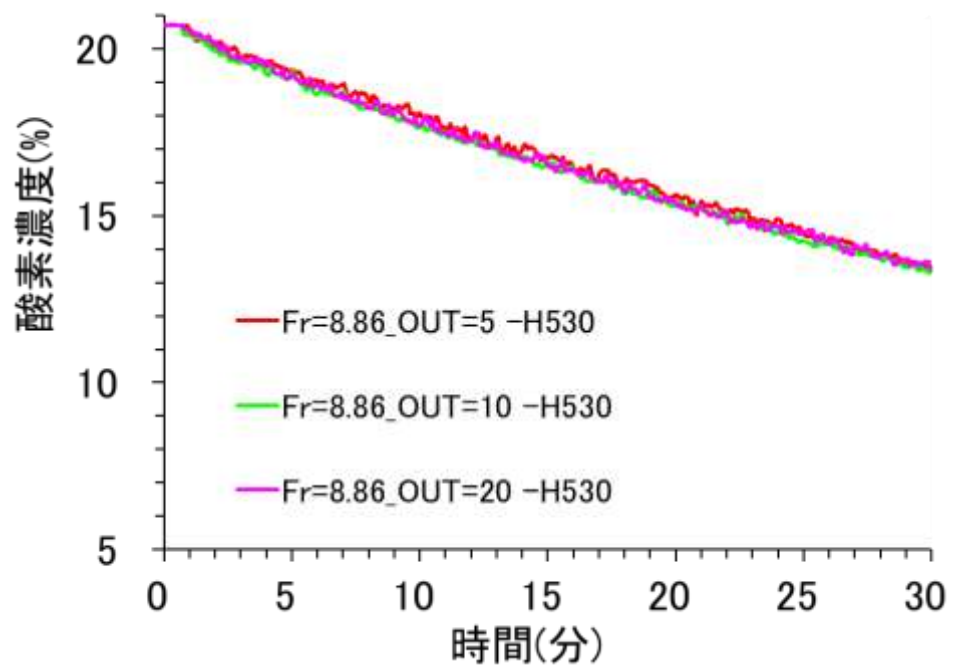
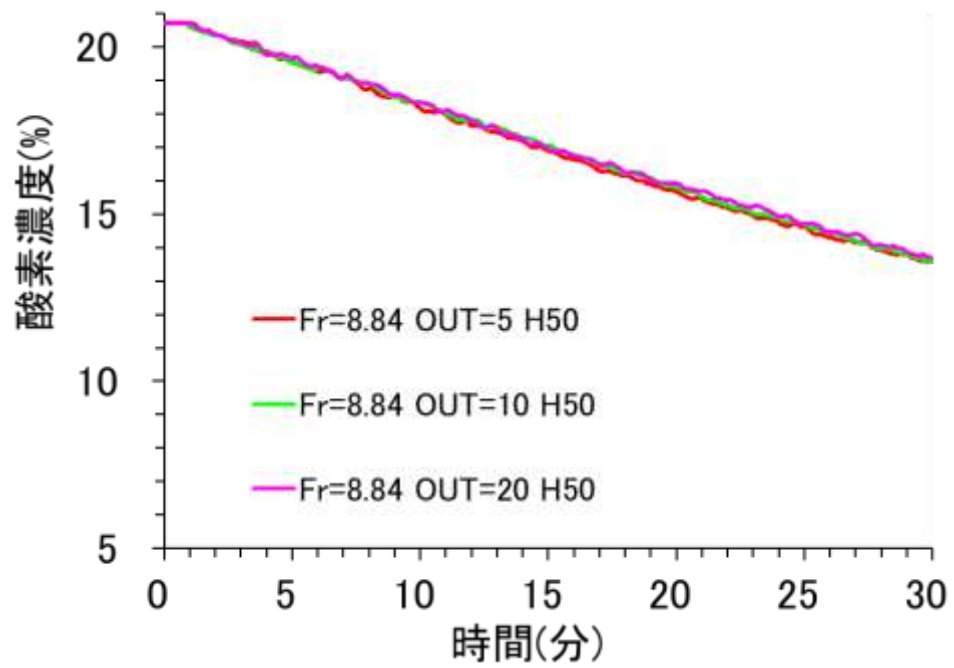


图 2.1.2 流出口別酸素濃度測定 (No.A-03, B-04, C-04)

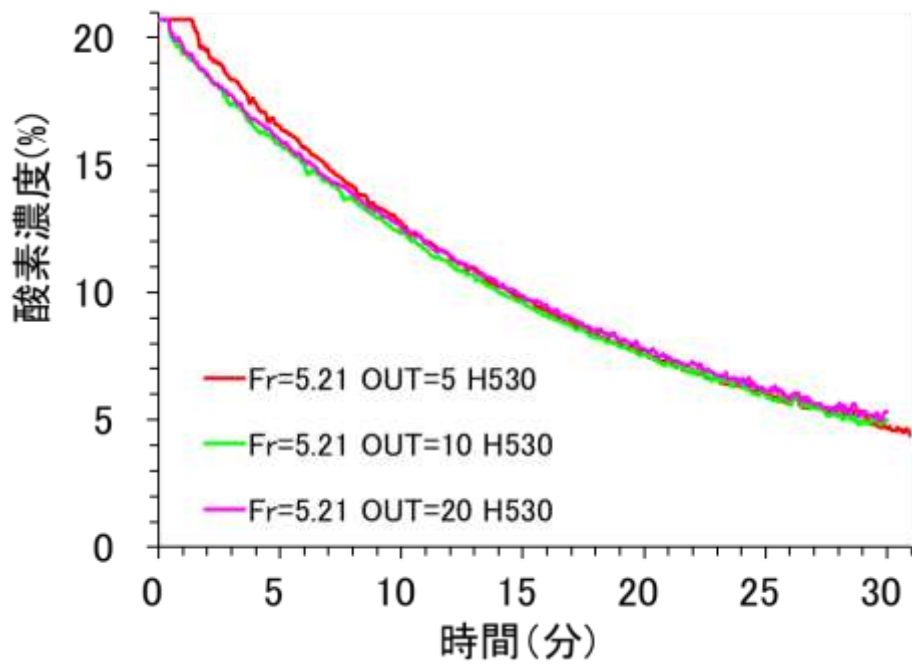
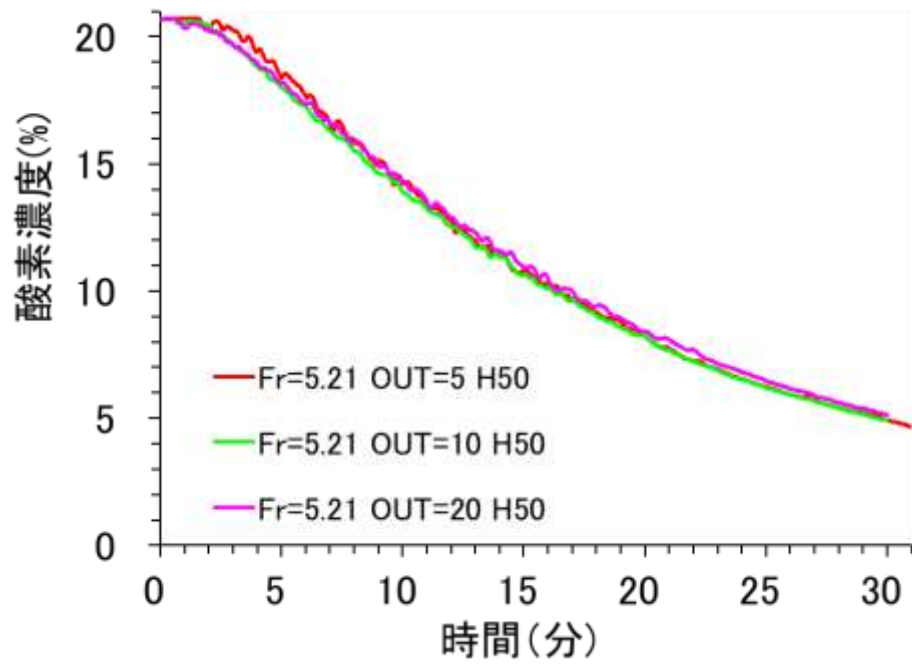


图 2.1.4 流出口別酸素濃度測定 (No.A-05, B-12, C-12)

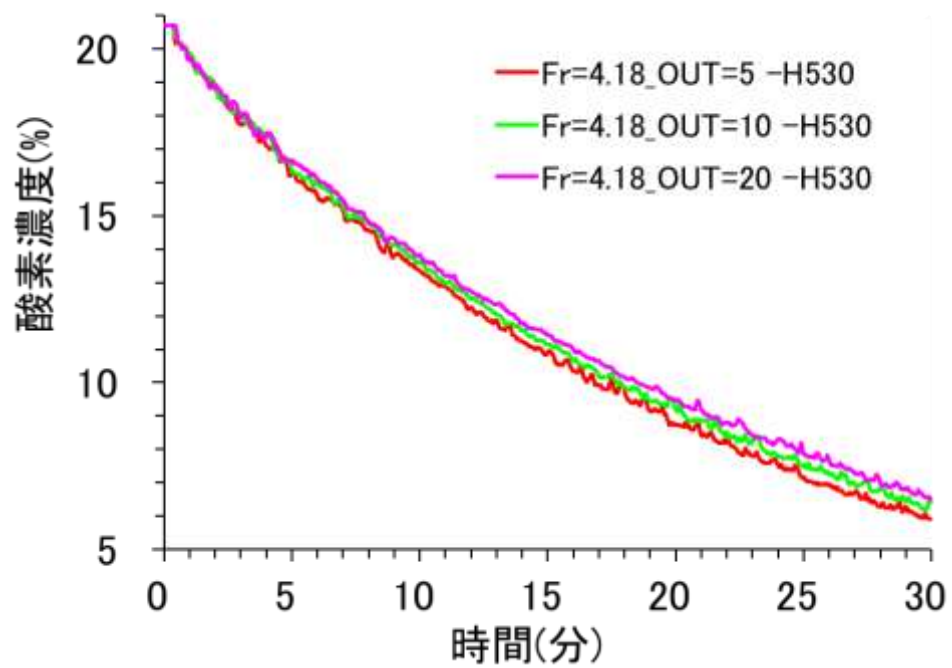
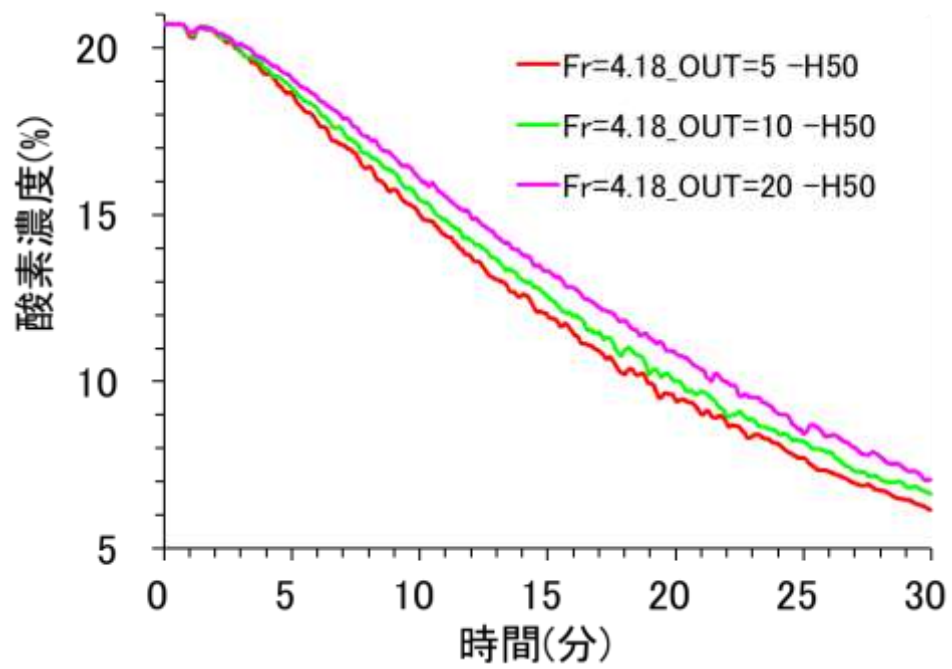


图 2.1.3 流出口別酸素濃度測定 (No.A-06, B-06, C-06)

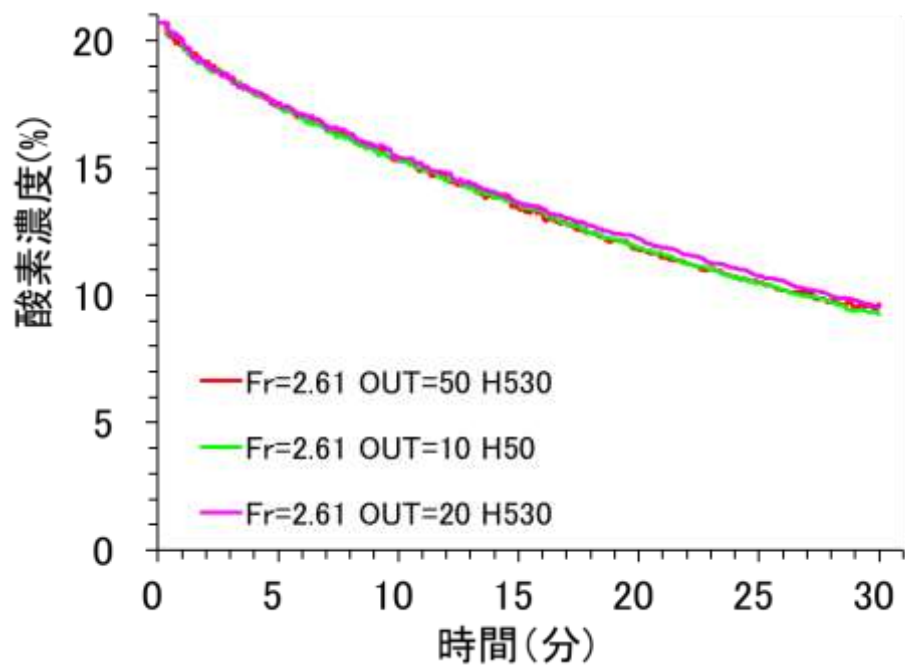
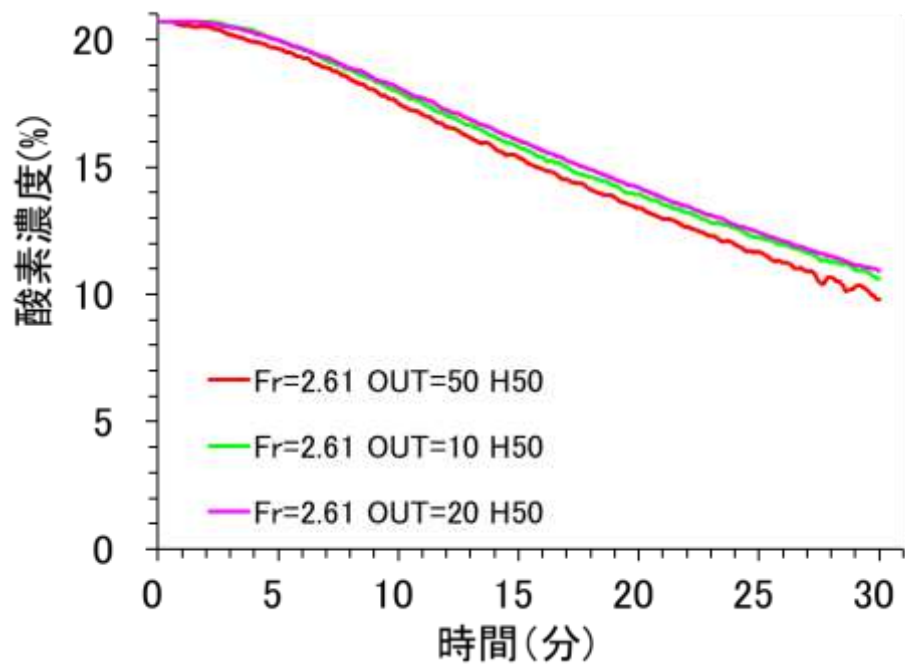


图 2.1.5 流出口別酸素濃度測定 (No.A-07, B-07, C-07)

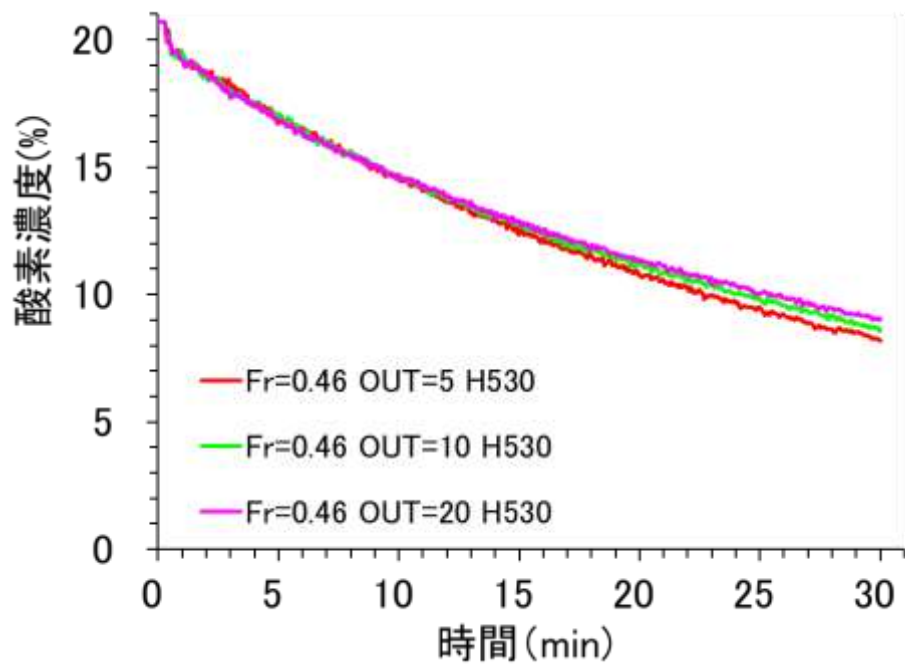
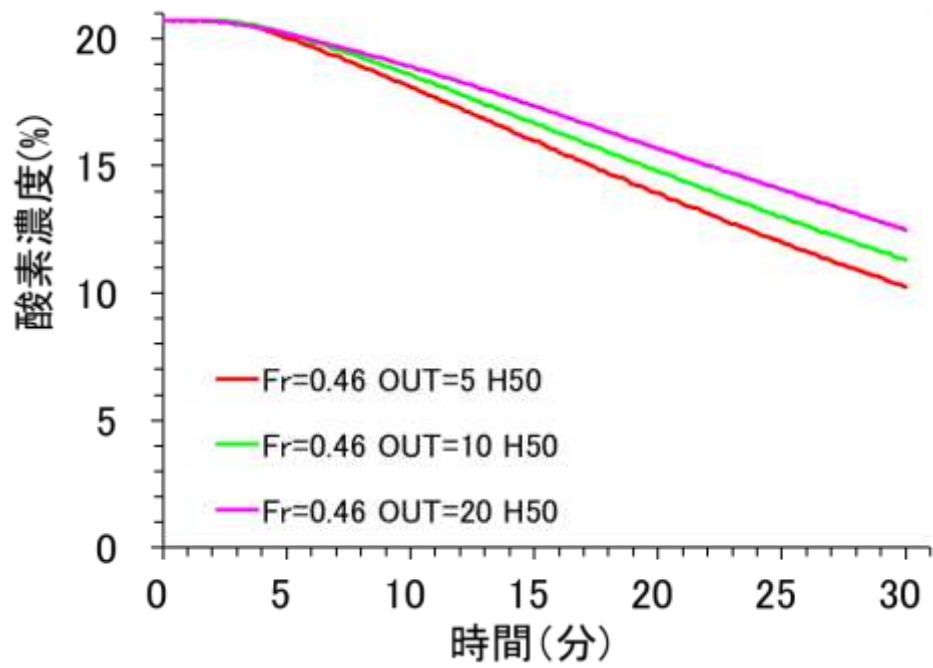


图 2.1.6 流出口別酸素濃度測定 (No.A-10, B-10, C-10)

2. 2. 3 考察

流出口の影響の有無

①区画内の酸素濃度分布が均一となる Fr 数 8.84 以上では流出口の断面形状の影響を受けないが、区画内の酸素濃度分布が不均一となる Fr 数 8.84 以下では、流出口の影響を受け、流出口の断面積が大きいほど区画内の酸素濃度が低下し難いことがわかった。

②流出口の影響を受ける Fr 数 8.84 以下の時 Fr 数が小さくなる事で流出口の影響を大きく受けることが確認できる。

高さ方向の酸素濃度分布	流出口の影響
Fr 数 = 83.38 均一に低下	影響なし
Fr 数 = 8.84 均一に低下	影響なし
共に境界条件	
Fr 数 = 5.21 H50を除く酸素濃度が均一	若干影響あり
Fr 数 = 4.17 H50を除く酸素濃度が均一	影響あり
Fr 数 = 2.61 シリーズAの時H50を除く酸素濃度が均一 シリーズB,Cの時H50,H210を除く酸素濃度が均一	影響あり
Fr 数 = 0.46 不均一	影響あり

均一に酸素濃度が低下する Fr 数と流出口の影響を受けない Fr 数は共に Fr 数 8.84 以上であることが確認された。

2. 3 無次元時間に対する影響検証

2. 3. 1 無次元時間について

Fr 数に対する時間の相似性について検証を行った。

既往の研究では、換気回数 1 となる時間を無次元時間 1 と定義すると異なる流入量であっても Fr 数が同一であれば、区画内挙動は等しいことが確認されている。

本研究においては、浮力の影響を受ける条件において同様の挙動を示すか検証した。

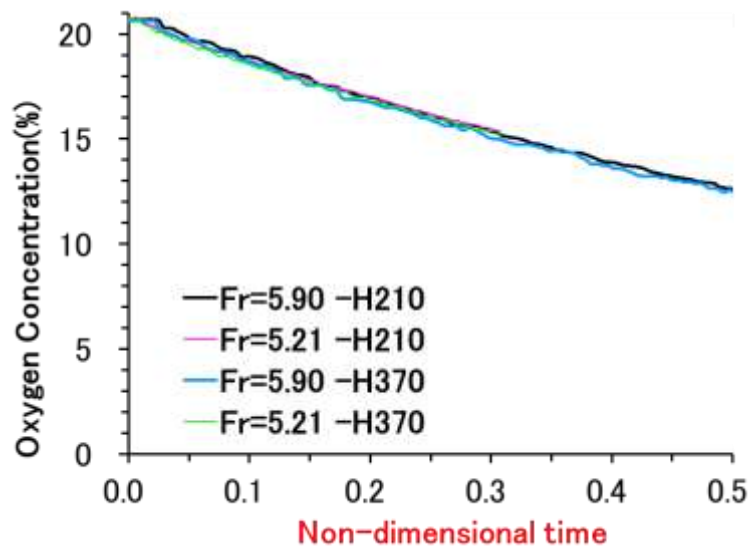
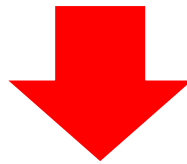
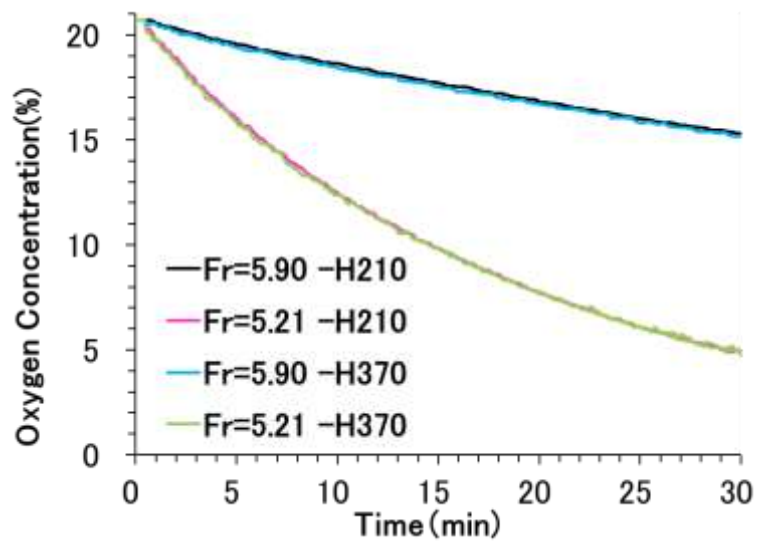
$$t^* = Q \times t / V$$

2. 3. 2 実験条件

表 2.3.1 実験条件

実験No	流入口	流出口	流量	Fr 数
	[mm × mm]	[mm × mm]	[L/min]	
A-11	10 × 10	5 × 5	2.0	5.9
A-05	20 × 20	5 × 5	10.0	5.21
A-08	30 × 30	5 × 5	8.0	1.51
A-12	20 × 20	5 × 5	3.0	1.56
A-09	30 × 30	5 × 5	5.0	0.95
A-13	40 × 40	5 × 5	10.0	0.92

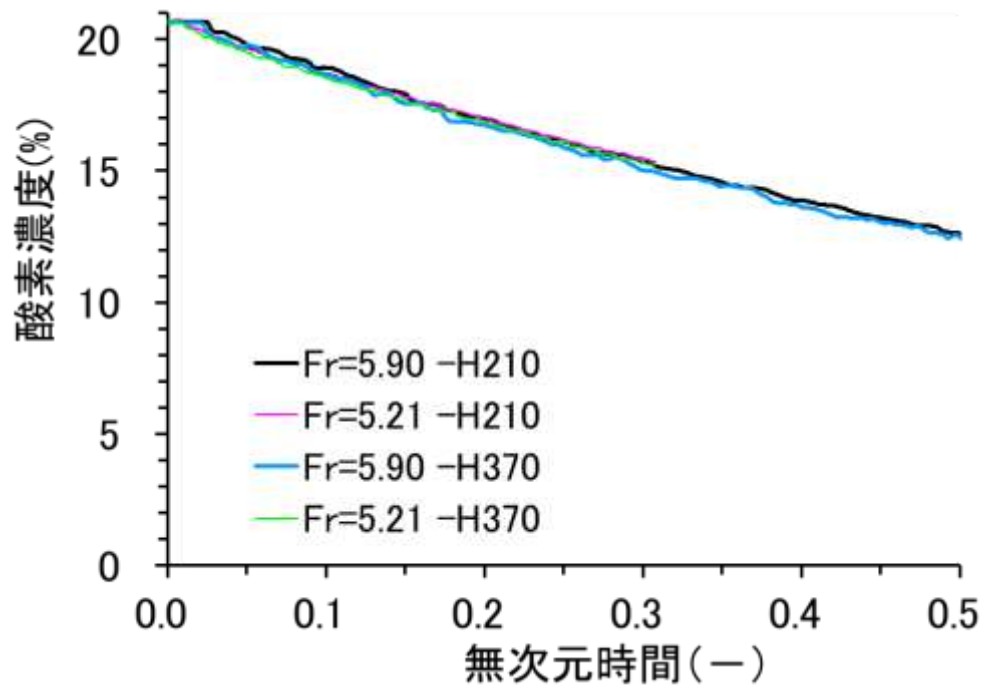
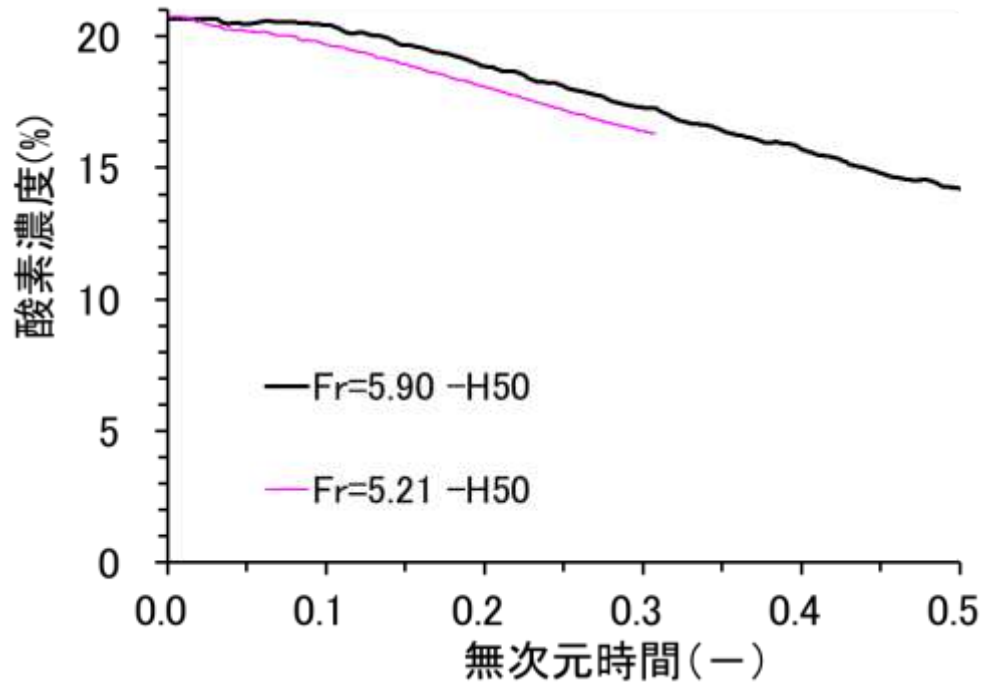
今回は流出口の影響が Fr 数 8.84 以下の時は流出口の影響を受けることが 2.2 より確認されているため、流出口 5mm × 5mm(A シリーズ)での検討を行った。また、異なる流入条件(流速)での検討を行うことを目的とするため、流入口、流量は全く別のものを使用する。



このように
時間軸を無次元化することで Fr 数による酸素濃度を異なる流入量で、
区画内の挙動を比較できる。

2. 3. 2 実験結果

それぞれの高さ別の実験結果を図 2.2.1~2.2.12 に示す



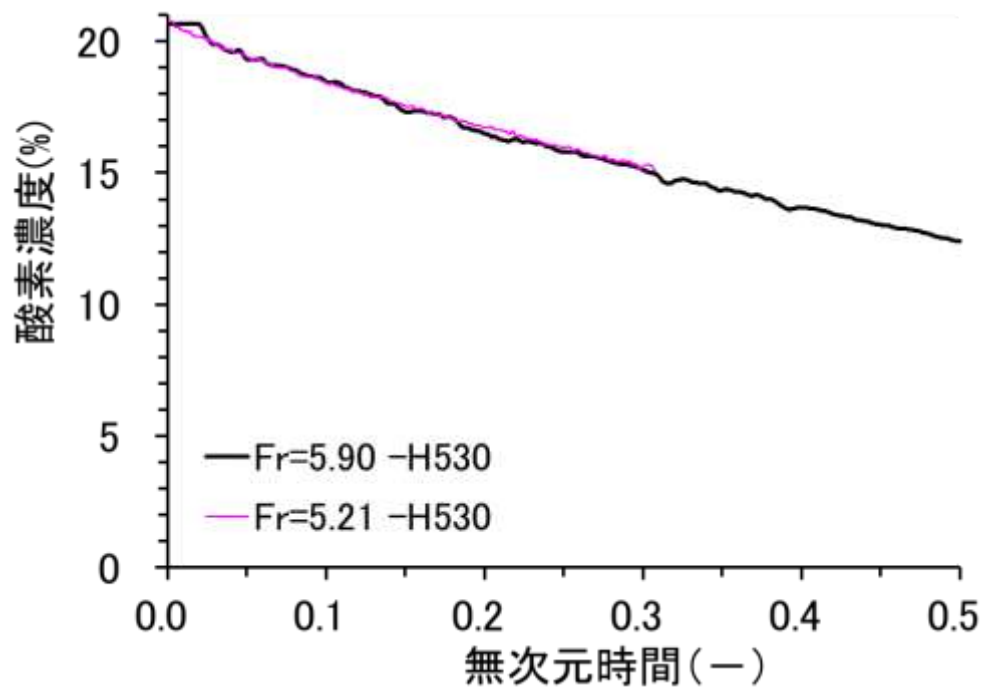
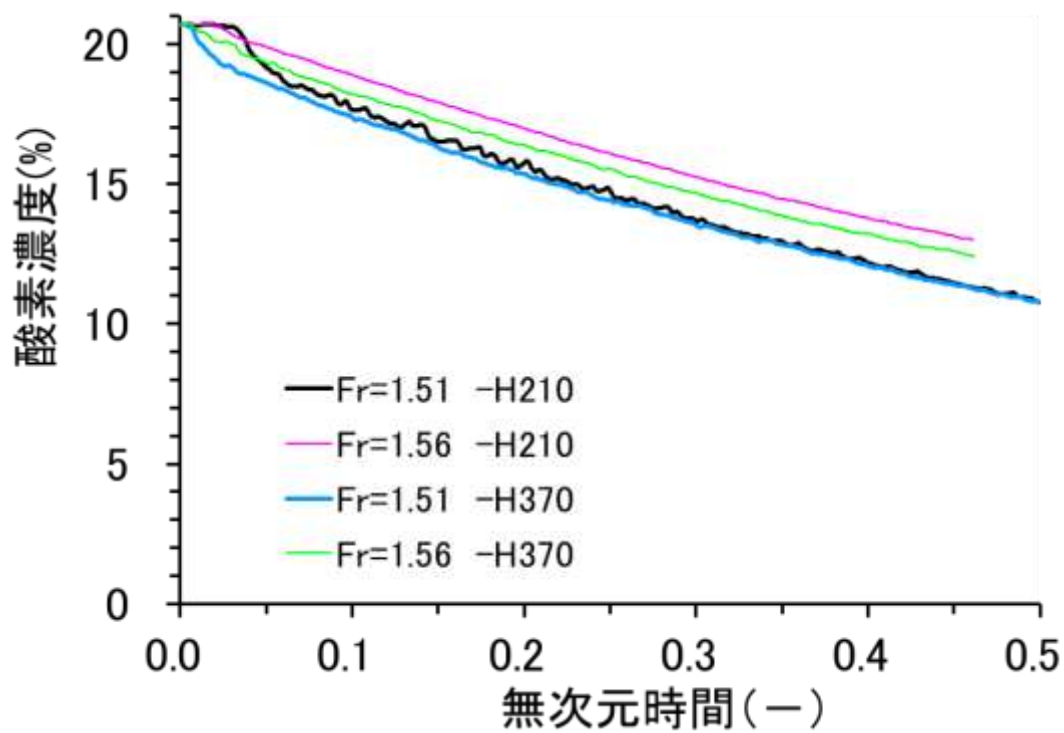
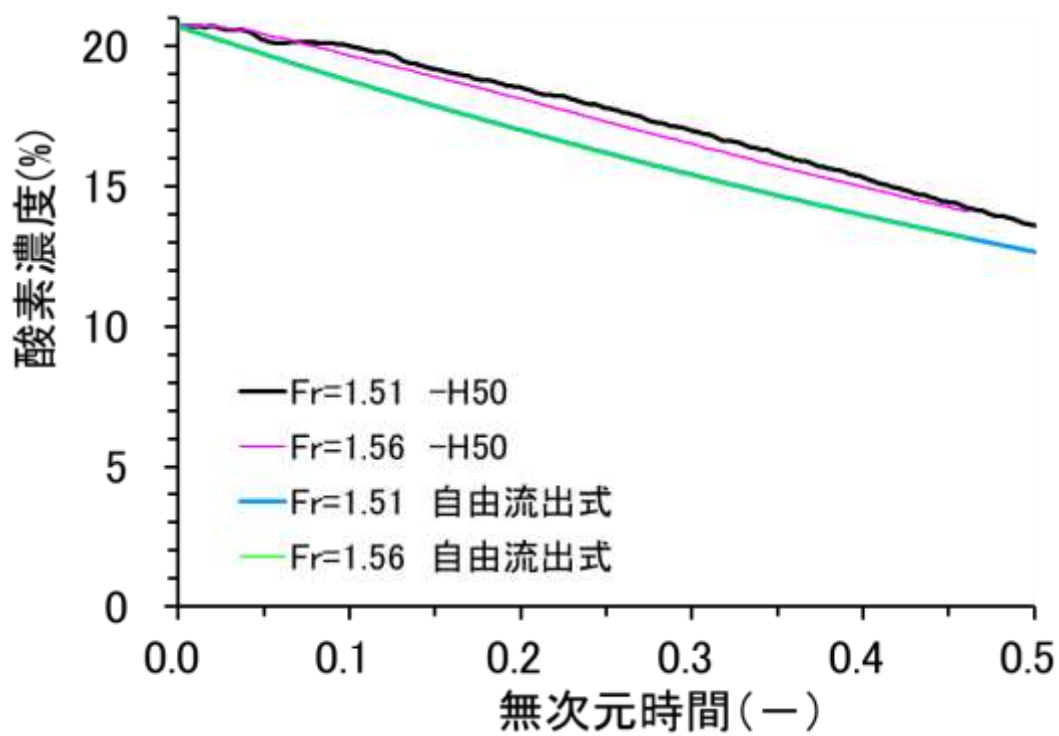


図 2.3.1 ほぼ等しい Fr 数の無次元時間での酸素濃度 (No.A-11, A-05)

図 2.3.1 は Fr 数 ≈ 5 , 5 の時, 区画内酸素濃度分布の無次元時間変化を示した。総流入量が異なるため全ての位置で酸素濃度分布が近似することが確認される。



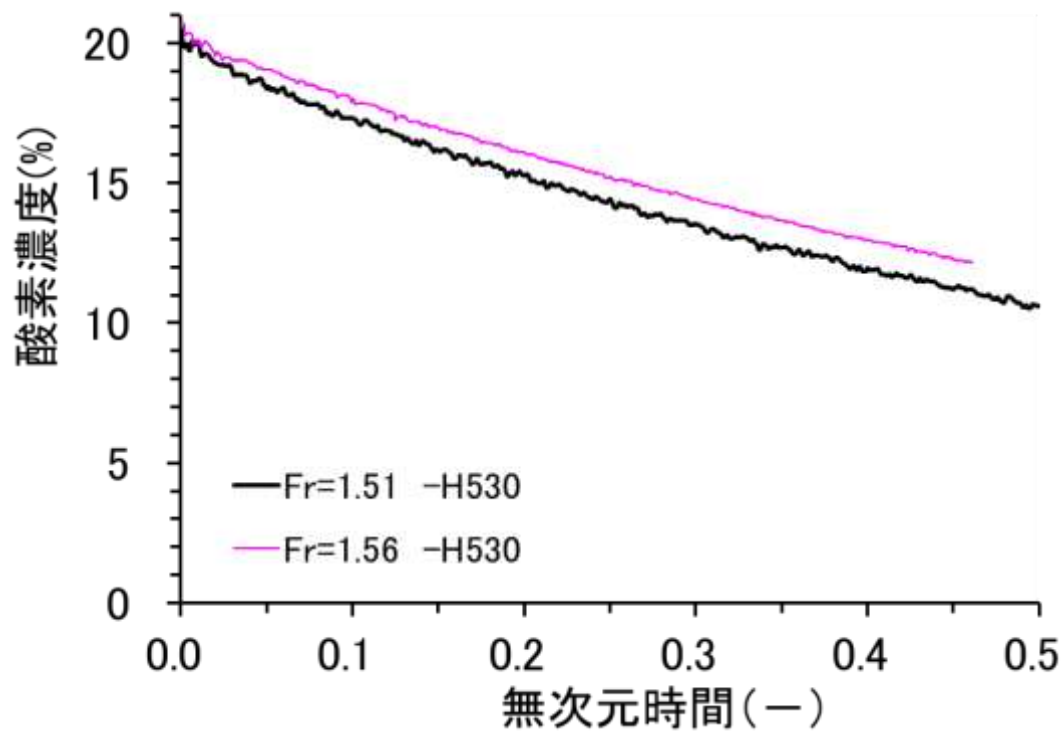
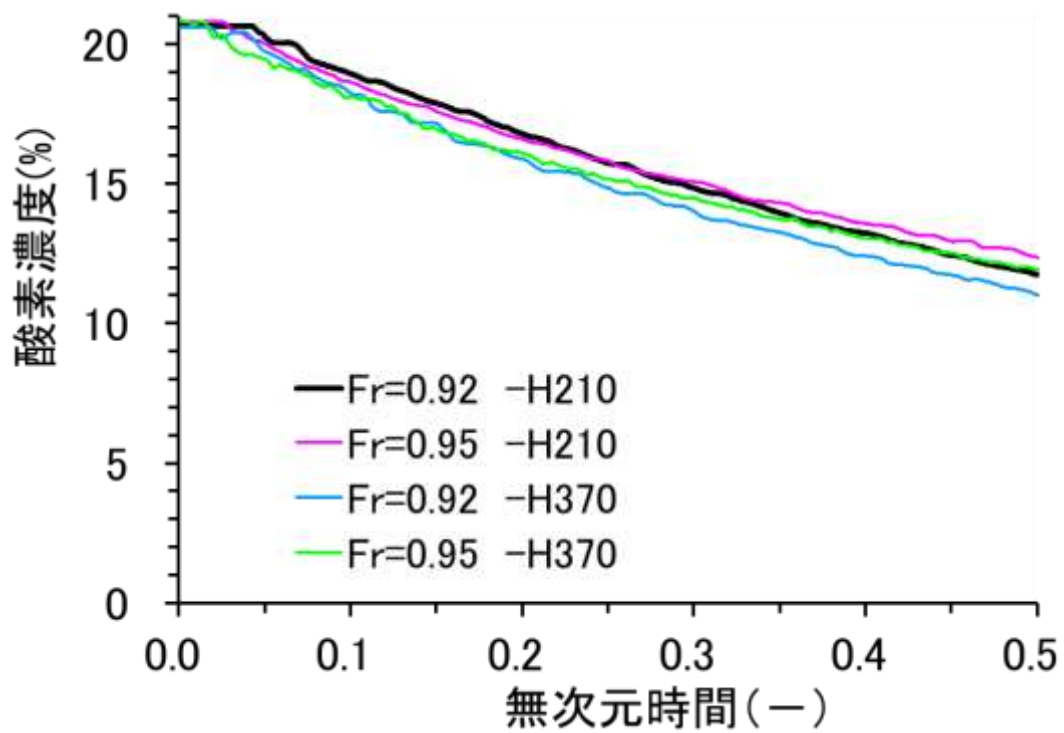
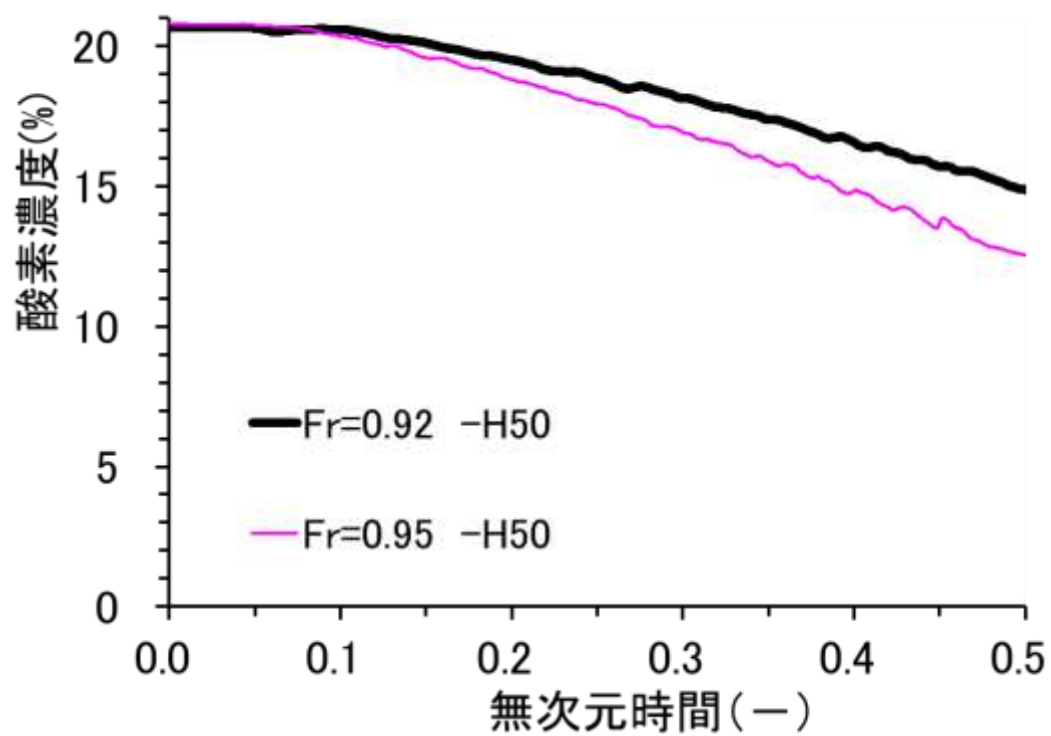


図 2.3.2 ほぼ等しい Fr 数の無次元時間での酸素濃度 (No.A-08, A-12)

図 2.3.2 は Fr 数 ≈ 1.55 の時，区画内酸素濃度分布の無次元時間変化を示した。総流入量が異なるため全ての位置で酸素濃度分布が近似することが確認される。

しかし区画内の酸素濃度が不均一条件で実験を行ったため，少しの実験誤差が生じた。

そのためガス系消火設備の評価に用いる区画内濃度の予測式：自由流速式での検討も行ったこれよりシミュレーションでは一致することがわかる。



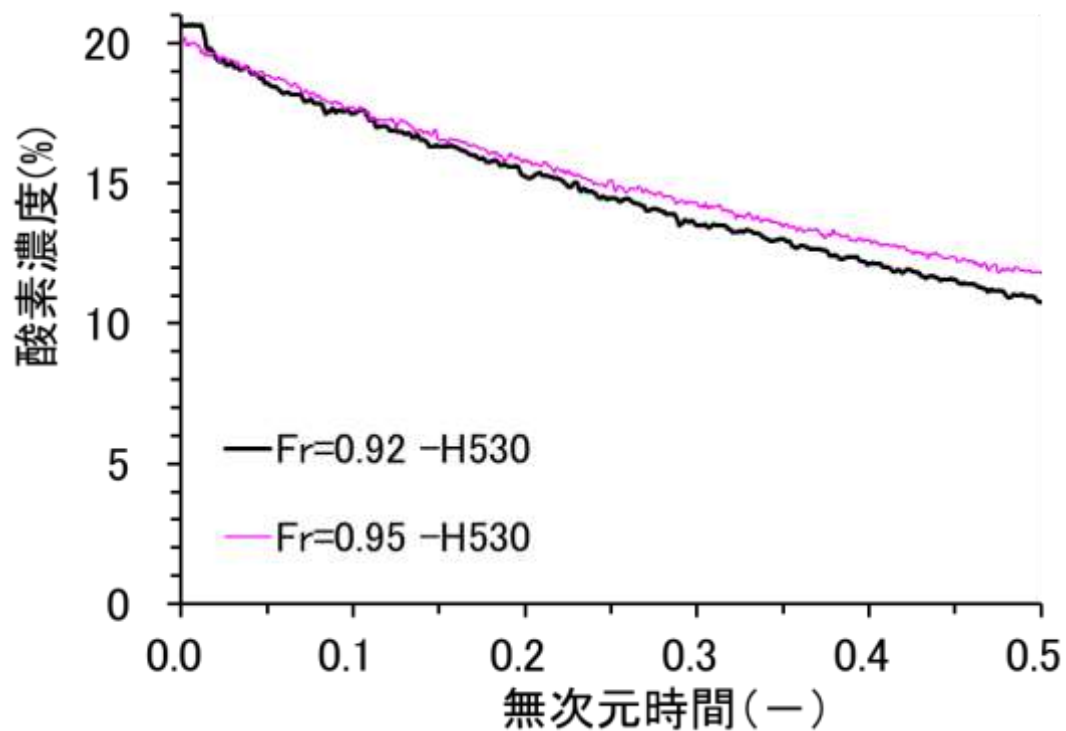


図 2.3.3 ほぼ等しい Fr 数の無次元時間での酸素濃度 (No.A-09, A-13)

図 2.3.3 は Fr 数 ≈ 0.95 の時，区画内酸素濃度分布の無次元時間変化を示した。総流入量が異なるため全ての位置で酸素濃度分布が近似することが確認される。

しかし区画内の酸素濃度が不均一条件で実験を行ったため，少しの実験誤差が生じた。

そのためガス系消火設備の評価に用いる区画内濃度の予測式：自由流速式での検討も行ったこれよりシミュレーションでは一致することがわかる。

3. 3. 3 考察

無次元時間に対する影響検証を行った
無次元時間でのほぼ等しい Fr 数による比較では
実時間を無次元化することで、傾向が近似する事を確認した。

今回は、区画内の酸素濃度分布が不均一上条件で行ったため、 Fr 数 $\doteq 1.95$ の No.8 および 9 を比較したところ、区画下方(H50)ではほぼ一致したが、区画上方(H210, 370 および 530)では一致しなかった。

また、No8 および 9 の実験より小さい Fr 数である Fr 数 $\doteq 0.95$ の実験、No10 および 11 を比較すると、区画上部(H210, 370 および 530)では一致したが、区画下部(H50)では一致しなかった。

これより区画内の酸素濃度分布が不均一条件では一致はしなかったが、酸素濃度が均一上条件で再度実験を行う必要性を感じた。

第4章 結論

窒素富化空気を用いた消火装置の入口 Fr 数の違いによる浮力の影響検証をするために、実験による区画内の酸素濃度の測定を行い、 Fr 数による酸素濃度が均一に低下する境界条件、流出口の影響、およびほぼ等しい Fr 数の無次元時間での酸素濃度分布比較を行った。

1. Fr 数による酸素濃度が均一に低下する境界条件

Fr 数が小さくなることで浮力の影響を受け酸素濃度に変化が見られた。

そして、均一に低下する境界条件は Fr 数 ≥ 8.84 である。

また、境界条件 Fr 数 8.84 は流出口面積の大きさに影響はなかった。

2. 流出口の影響

流出口の影響は流出口断面積が大きくなることで酸素濃度分布に影響があり、 Fr 数が小さくなることで流出口の影響を受けて実験結果に変化が見られた、そして流出口の影響を受けない境界条件は Fr 数 ≥ 8.84 である。

3. ほぼ等しい Fr 数の無次元時間での酸素濃度分布

異なる流入条件でのほぼ等しい Fr 数の実験結果を無次元時間で比較すると、 Fr 数がほぼ等しければ無次元時間での酸素濃度分布は近似することが分かった。

しかし今回は区画内の酸素濃度が不均一条件で実験を行ったため、実験誤差実験誤差が生じた。再度区画内の酸素濃度を均一な条件で実験を行う必要がある。

今後の展望

本研究を発展させるために考慮すべき課題を以下に記す。

Fr 数 8.84 以下の場合、流出口の影響により結果が変わっている。

実際の火災を想定すると様々な流出口の時、無次元時間での酸素濃度を評価する必要がある。

更に、大きな区画での実験を行い Fr 数評価の相似性を検討すべきである。

参考文献

- 1) 山野光一, 窒素富化空気を用いた消火に関する研究, 平成 27 年度東京理科大学大学院 修士論文

- 2) 辻本誠, 相良和伸, 中原信生, 蓄熱層に関する研究第一報, 空気調和・衛生工学会論文集, No.16, pp. 23-35, 1981 年 6 月

- 3) M. Burns, W. M. Cavage, Inerting of a Vented Aircraft Fuel Tank Test Article With Nitrogen - Enriched Air, U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, 2001 年 4 月

- 4) 勝田高司ほか, 温風暖房時の室内気流の可視化, 第 2 回流れの可視化シンポジウム 1974 年

- 5) 勝田高司, 村上周三, 小林信行 閉鎖的空間の気流性状に関する研究第 1 報, 第 2 報, 日本建築学会論文集, 第 234 号, 第 238 号, 昭和 50 年

謝辞

私は東京理科大学，辻本 誠教授，松山 賢教授に直接ご指導，ご鞭撻を頂く名誉に浴しました。本論文を結ぶにあたって心から感謝の意を表します。同時に本論文の主題にあたる窒素富化空気を用いた消火に関する研究に取り組む機会を与えてくださり，また直接ご指導いただいた東京理科大学，博士山野光一様に深く感謝の意を表します。

本論文を結ぶにあたり支えてくれた家族ならびに東京理科大学の関係者の皆様および多大なご支援いただきましたすべての方々に感謝の意を表し謝辞とさせていただきます。

2017年 2月