

# 遠心脱水乾燥機の実用化 に関する調査研究

## 1. 研究の背景と目的

全国的に下水道整備が進み、下水道普及率が高まるにつれて、下水汚泥の発生量は年々増加してきている。しかしながら、最終処分地の残存容量が減少していることや最終処分地の新規設置が極めて困難な状況にあることから、下水道事業における汚泥処理・処分の重要性が一段と認識されている。このような状況の中、汚泥の有効利用を進めることを含め、汚泥処理施設の建設コスト、維持管理コストの縮減や処理の安定性を認識した効率的な汚泥処理システムが望まれている。

今回の研究対象である遠心脱水乾燥機はドイツで開発された技術であり、いわゆる遠心脱水機と気流乾燥機を一体型にした装置である。本装置は設備のコンパクト化が図れるとともに、得られる乾燥汚泥が取り扱い易いという特徴を持つことから、適切かつ適正に採用することにより、汚泥処理コストの縮減、汚泥処理の効率化が望める技術であると考えられる。

本研究では、汚泥処理を体系的にとらえる中で、乾燥プロセス導入による効果を各用途別に明らかにする。また、脱水－乾燥を一体化した遠心脱水乾燥機について一体型の長所・短所を整理し、適用対象に応じたシステム構成、機器選定方法等、設計／維持管理上の基本事項と留意すべき事項を技術資料として取りまとめ、遠心脱水乾燥機的设计に関する標

準化を図る。さらに仕様書等の積算資料を整備することにより、下水道管理者が設計を行う際の一助となることを目的とする。

## 2. 研究体制

本研究は、財団法人下水道新技術推進機構と下記5企業との共同研究により実施した。

株式会社クボタ  
三機工業株式会社  
日本碍子株式会社  
日本鋼管株式会社  
三菱重工業株式会社

## 3. 研究内容

本研究は平成10年度、11年度の2ケ年にわたり実施した。

平成10年度には、原理・性能等の遠心脱水機の概略を整理するとともに汚泥処理・処分の現況と汚泥乾燥のニーズについて調査を行った。

平成11年度は、都市ゴミとの混焼や下水汚泥燃料等、新たな汚泥乾燥のニーズについての調査を行い、さらに遠心脱水乾燥機的设计／維持管理上の基本事項と留意すべき事項を整理し、技術資料として取りまとめた。

## 4. 研究成果の概要

### 4.1 遠心脱水乾燥機の概要

#### 4.1.1 原理及び構造

図-1 にシステム概要図を示す。本機は脱水部と乾燥部から成り立っており、脱水部は既に下水で実績のある高効率遠心脱水機が採用されている。乾燥部は脱水汚泥の分散機構および遠心脱水機外周をとりまく熱風混合部で構成され、乾燥原理は熱風による気流乾燥方式である。

遠心脱水機の回転排出口から排出された脱水ケーキは、分散機構により遠心脱水機の周速に従い80~100m/sec.の速度で噴出され、1mm程度に細粒化される。この細粒状の脱水ケーキと直接熱風とを混合させ、瞬時に乾燥し、サイクロン等により乾燥汚泥を回収する。乾燥用熱風の温度は、必要とする乾燥ケーキの含水率によって決まるが、200~400℃の範囲で設定され、排ガス温度は100~200℃程度、乾燥ケーキは表面温度30~60℃で排出される。

#### 4.1.2 特長

##### ■設備がコンパクト

- ・脱水プロセスと乾燥プロセスを一体化させたことにより、両プロセスを別々に設置した場合と比べ、必要設置面積の大幅な縮小が可能。
- ・脱水設備と乾燥設備を接続するコンベアが一切不要となり、濃縮設備から脱水乾燥設備まで配管で接続することが可能であるため、施設のフレキシブルな配置が可能。

##### ■乾燥ケーキの含水率を任意に調節可能

- ・熱風温度、熱風量の制御により、乾燥ケーキ含水率を10~50%まで調整することが可能。

##### ■乾燥ケーキの取扱いが容易

- ・乾燥ケーキは含水率に関わらず粉体/顆粒状となり、取扱いが容易。

### 4.2 下水汚泥の処理、処分及び有効利用状況

表-1 に示す下水汚泥の処分状況（平成9年度）によると、下水汚泥は処分時の体積ベースで発生量の52%が埋立処分されており、有効利用は42%にとどまっている。

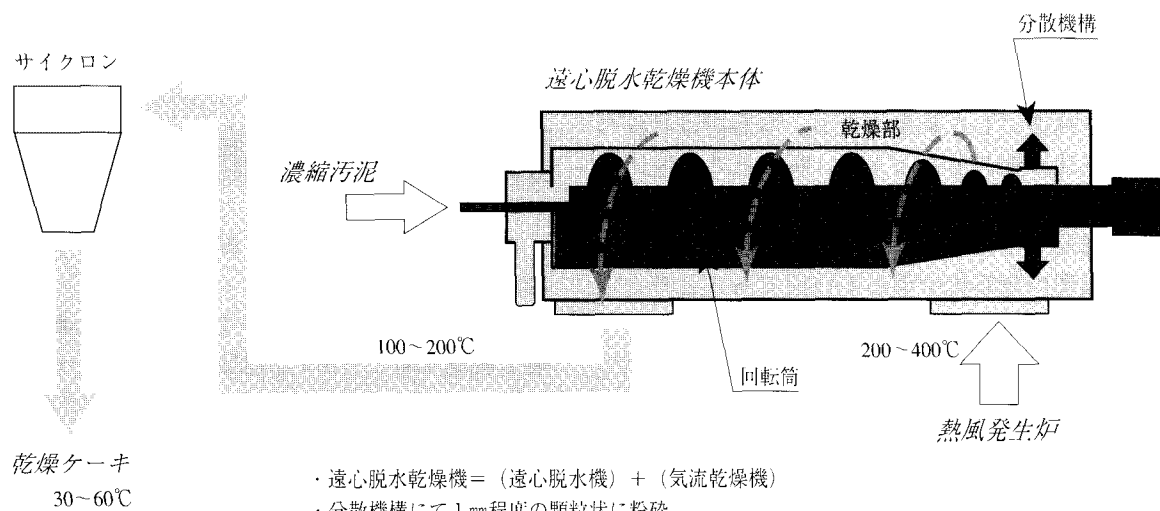
表-1 下水汚泥の処分状況（平成9年度）

処分形態 処理性状	陸上 埋立	海面 埋立	有効 利用	その他	計 (%)
脱水ケーキ	668	190	721	40	1,639 (70)
焼却灰	88	229	140	12	469 (20)
乾燥汚泥	12	0	112	10	134 (6)
消化・濃縮汚泥	0	0	0	101	101 (4)
計 (%)	788 (34)	419 (18)	973 (42)	163 (7)	2,343

(単位: 千ton-ds)

一方、平成9年度に建設省が実施した既存処分場の調査によると、5年以内に埋立完了の処分場が全体の43%、10年以内に完了する処分場で全体の84%に達し、残余年数は極めて深刻な状況にある。また、新たな処分場建設も、用地確保が困難で、難しい状況にある。

なお、埋立処分時の形態は脱水ケーキでの処分が



- ・遠心脱水乾燥機 = (遠心脱水機) + (気流乾燥機)
- ・分散機構にて1mm程度の顆粒状に粉砕

図-1 遠心脱水乾燥システム概要図

最も多く、埋立処分の約7割を占めており、焼却や乾燥による減量化や有効利用による埋立量の抑制が必要であると考えられる。

また、汚泥処分費については、地域間の較差が大きく、沖縄以外は全国的に最小と最大の開きが大きい。平均値でみると全体で10,000~25,000円/ton程度となっている。図-2に地区別の汚泥処分費調査結果を示す。

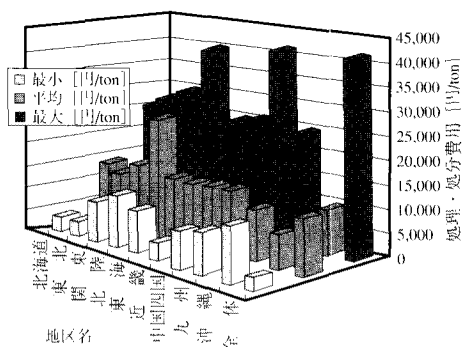


図-2 地区別汚泥処分費

下水汚泥の有効利用状況としては、従来は緑農地利用が中心であったが、近年では建設資材利用が急速に進んでいる。表-2に平成9年度における下水汚泥の有効利用状況を示す。

表-2 下水汚泥の有効利用状況 (平成9年度)

区分	処理性状	脱水ケーキ	焼却灰	乾燥汚泥	コンポスト	溶解スラグ	合計
緑農地	自治体で実施	13	17	17	52	0	99
	肥料会社引渡	36	4	1	129	0	170
	小計	49	21	18	181	0	269
建設資材		15	441	0	1	104	561
合計		64	462	18	182	104	830

(単位: T・ton-ds)

現状の緑農地有効利用のほとんどがコンポスト化によるものであり、脱水ケーキや乾燥汚泥の状態での緑農地利用量は少ない状況にある。また、従来、建設資材としての利用量は緑農地利用より少なかったが、焼却灰のセメント原料としての利用や、溶解スラグの利用等により、建設資材としての利用量が、急激に増加しており、今後もこの傾向が一層進んでいくものと考えられる。

### 4.3 汚泥乾燥に伴うメリット

#### 4.3.1 処理処分時のメリット

##### 1) 埋立処分

汚泥の処理処分に関しては、世間動向等からも将来的には資源化等への指向が強まるものとみられるが、現状ではケーキ埋立処分を実施している例も少なくない。このような状況において、脱水ケーキで埋立処分する場合に比べ、乾燥汚泥処分は乾燥による減量化が図れるが、乾燥設備の建設費と維持管理費が必要となる。

減量化に伴う埋立処分費圧縮の効果により、設備の減価償却費を含めた処理コストが脱水のみの場合を下回れば乾燥設備設置の方が有利となるが、将来的な処分費の高騰・処分地不足をも考慮した計画が必要である。埋立処分を前提とし、遠心脱水機と脱水乾燥機について、減価償却費を含めた処理コストを試算し比較した(図-3)。

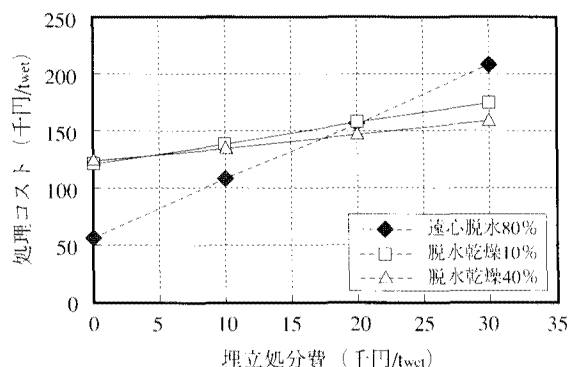


図-3 汚泥処分費と処理コスト

遠心脱水機との比較において、乾燥汚泥を含水率10%で処分する場合で埋立処分費が約1.7万円以上、含水率40%の場合で埋立処分費1.9万円以上であれば、遠心脱水乾燥機の方が有利となる。図-2に示したように、埋立処分費は地域による差が大きく、処分費が大きな地域では乾燥汚泥の形態での処分が望ましいと考える。

##### 2) ごみとの混焼

焼却処理を前提とすると、都市ごみとの混焼処理を想定する場合において乾燥によるメリットが現れる。脱水汚泥を混焼した場合と比べて、乾燥汚泥を混焼した場合のメリットは、以下のとおりである。

- ① 混焼率の向上
- ② ごみとの混合性の向上
- ③ 搬送中のハンドリング性向上と臭気の低減  
ごみと汚泥を混焼する場合、脱水汚泥は低位発熱が低く、混焼率10%程度とする必要があるが、乾燥

汚泥の場合は低位発熱量の上昇により20%程度まで可能である。

また、汚泥を直接ごみピットへ投入する場合、ごみクレーンにてごみと汚泥の混合がピット内で行われる。この際、脱水汚泥は粘着性が強く、ごみとの混合性が悪いが、乾燥汚泥はごみとの混合が容易に行われる。また、乾燥により搬送の効率が向上するほか、臭気についても改善されるなど、取扱上のメリットも大きい。

### 3) 溶融前処理

汚泥溶融炉は汚泥を脱水・乾燥し、汚泥の保有する熱を利用して汚泥の灰分を溶融させて減容化を図る設備である。汚泥処理プロセス(脱水)から溶融炉の前処理プロセス(乾燥)まで考えると脱水乾燥機を適用した場合、設備を簡略化することが可能となる。また、脱水乾燥設備の熱源は溶融炉廃熱や余剰の消化ガスの有効利用が可能である。

溶融の前処理として脱水乾燥機を用いた場合、以下のメリットがある。

- ① 試算結果では従来設備と比べ設備費用で約10%、設置スペースで約40%程度低減する。
- ② 汚泥の搬送・貯留設備が省略するため、作業性・維持管理性が向上する。
- ③ 臭気対策が容易で、作業環境が向上する。

## 4.3.2 汚泥の資源化

### 1) 緑農地利用

下水汚泥の緑農地利用としては、「乾燥汚泥の直接利用」、「乾燥汚泥のコンポスト化」、「混合(融合)コンポスト化」等が挙げられる。

乾燥汚泥肥料は、下水汚泥を天日または人工加熱して乾燥し、粉状または粒状化したものである。乾燥汚泥肥料は汚泥中の肥効成分がそのまま保存され、含水率が低いため取扱いも容易で、長期保存も可能である。

また、近年コンポスト(堆肥)化し、緑農地還元する方法が増加している。試算結果によれば、遠心脱水乾燥機を用いた場合、従来機種による脱水汚泥と同等のコストでコンポスト化が可能である。

### 2) セメント原料

平成9年度下水道統計によると、脱水ケーキや焼却灰をセメント工場へ受け渡している処理場は全国で65箇所であり、半数以上が焼却灰の形態である。

乾燥汚泥の形態で受け渡した場合には、乾燥汚泥の持つ熱量により、セメント焼成時に不可欠である燃料の削減が可能である。

## 4.3.3 エネルギーの有効利用

### 1) 固形燃料化

近年、汚泥が高カロリー化しているものの、エネルギー源としての利用は殆どされていない。これは、脱水ケーキのままでは燃料的価値が低いことや、臭気、操作性の問題によるものと考えられる。

しかしながら、下水汚泥もDS当たりの高位発熱量は都市ごみと同程度(約4,500kcal/kg-ds)であり、乾燥により燃料的価値やハンドリング性を向上させることで、RDF(ごみ燃料)と同様に低位石炭などの代替燃料として利用することができると考えられる。このような有効利用により、従来自然界に排出されていた廃棄物を削減できるばかりでなく、トータルとしてのエネルギー効率の改善が実現でき、今日の環境負荷削減へのニーズに貢献できる。

汚泥の固形燃料化を指向し、製品の発熱量を都市ごみRDFと同等とするためには、含水率10%程度まで乾燥させる必要がある。また、乾燥品性状が粉状の場合、貯留効率が悪く、搬送途中での飛散等、取扱上の問題もあるため、成形により製品のハンドリング性を向上させることが必要となる。遠心脱水乾燥機の場合は乾燥ケーキ性状が1mm程度の顆粒状であり、成形機への投入も容易である。下水汚泥固形燃料とRDFの性状を表-3に示す。

可燃分組成に着目すると、下水汚泥固形燃料はRDFと比較し、塩素は少ないが、窒素・硫黄が多いため、この点に留意した排ガス処理が必要である。

表-3 RDFと汚泥燃料の比較

項目		RDF	下水汚泥固形燃料
原料性状	種類	基準ゴミ(例)	下水汚泥
	水分率	58%	80%
	可燃分	75%	80%
	灰分率	25%	80%
高位発熱量		4,500kcal/kg-ds	4,500kcal/kg-ds
可燃分組成	C	53.5%	53.4%
	H	7.5%	6.8%
	N	1.6%	7.9%
	S	0.4%	1.2%
	O	35.2%	3.06%
	Cl	0.9%	0.1%
燃料的価値 水分10%時の 低位発熱量		3,630kcal/kg (wet-base)	3,660kcal/kg (wet-base)
臭気対策	製品	石灰(消石灰or生石灰)添加	石灰(同左)または活性炭添加
	排ガス	脱臭炉より対応	同左
製品形状		10~50φ円筒形が一般的	RDF同様の形状

2) 消化ガスの利用

汚泥の乾燥を実施する場合、他設備からの廃熱を利用する場合以外は、乾燥機の熱源として重油、灯油や都市ガスなどの燃料が必要となる。一方、汚泥処理として消化を実施している処理場に着目すると、特に中小規模の処理場においては消化ガスの有効利用率が低く、全体でも発生消化ガスの概略6~7割程度が利用されているにすぎない。

本脱水乾燥機は乾燥用熱源の種類を問わないため、発生消化ガスを乾燥用熱源として用いた場合について試算し、A重油を用いた場合と比較することにより、燃料費削減効果について確認した(図-4)。

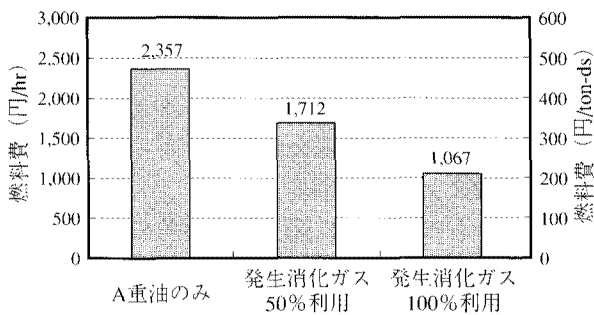


図-4 燃料削減効果

(処理量：10m<sup>3</sup>/hr,乾燥ケーキ含水率40%の場合)

試算結果によれば、消化ガスを燃料として使用すれば、A重油使用時と比較して、約3~6割(約480万円/年(発生消化ガス50%利用時)~約960万円/年(発生消化ガス100%利用時))の燃料費削減が可能であった(年間310日稼働, 出口乾燥汚泥含水率:40%, A重油:30円/kgとして試算の場合)。

4.3.4 脱水/乾燥の一体型設備の長所・短所

脱水機と乾燥機が一体となっている事により、脱水ケーキの貯留・搬送設備が不要となり、脱水設備と乾燥設備を個別に設ける場合と比べて、フローがシンプルであり、設置スペースも小さくなる。

脱水ケーキの搬送・貯留設備がないことや密閉型の気流乾燥のために、作業環境上の臭気問題も解決している。

設備の機器点数が少なく、構成が簡素となることにより、各機器の故障等による設備停止の確率は小さくなる。ただし、一体型のため、機器故障等により設備停止した場合、脱水と乾燥の両方の操作が出来なくなるため、その対応策も検討しておく必要がある。

4.4 設計上の基本事項について

4.4.1 システム構成

本システムは、これまで別々の装置で行っていた脱水処理と乾燥処理を一体化して連続的に行うもので、給泥設備、薬注設備、脱水・乾燥設備、排ガス処理設備、乾燥ケーキ搬送・貯留設備により構成される。システムの基本構成を図-5に示す。

4.4.2 遠心脱水乾燥機の性能

遠心脱水乾燥機は標準汚泥に対し2~60m<sup>3</sup>/hr(濃縮汚泥)に対応可能である。選定する場合は、処理量に合わせて7機種から選定する。(表-4)

図-6に熱風温度毎の固形物負荷と乾燥ケーキ含水率の関係を示す。図-7に熱風温度と含水率の関係を示す。なお、図に示す数値は某処理場における実機ベースでのオンサイト実験時に測定したデータである。

固形物負荷が増加すると乾燥ケーキ含水率は上昇し、熱風温度を上昇させると乾燥ケーキ含水率は低下する。また、一定負荷の下では熱風温度により乾

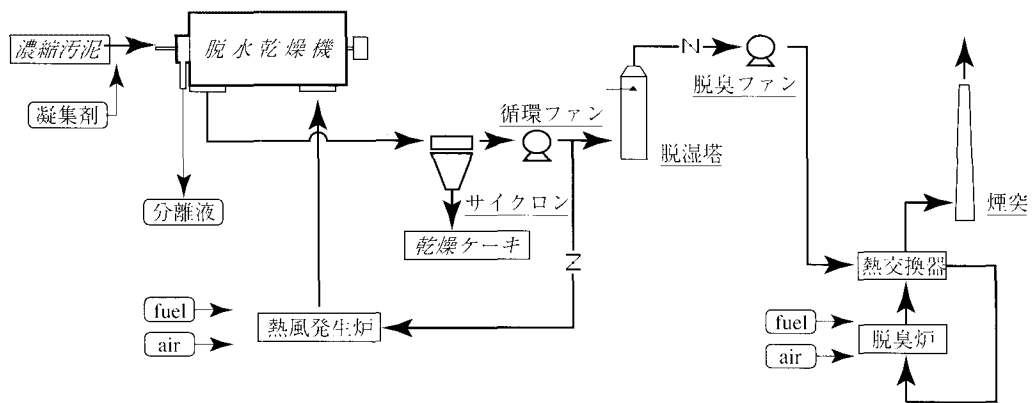


図-5 システムの基本構成

表-4 遠心脱水乾燥機の処理能力と寸法

ボウル径 mm	処理量 (ml/hr)		主要寸法 (mm)			重量 (kg)
	Case1	Case2	長さ	幅	高さ	
250	2	3	1,800	1,150	830	1,000
350	4	5	2,490	1,620	1,150	2,000
450	8	10	3,000	1,800	1,250	2,550
550	12	15	3,400	2,000	1,320	4,000
670	20	25	3,840	2,630	1,500	7,500
760	30	40	5,000	2,800	1,700	12,500
900	50	60	6,000	3,100	1,900	16,000

注) Case 1 は 1 液調質によるディフ汚泥の処理量を示す  
 注) Case 2 は「1 液調質による標準活性汚泥法の混合生/消化汚泥」及び「2 液調質によるディフ汚泥」の処理量を示す。

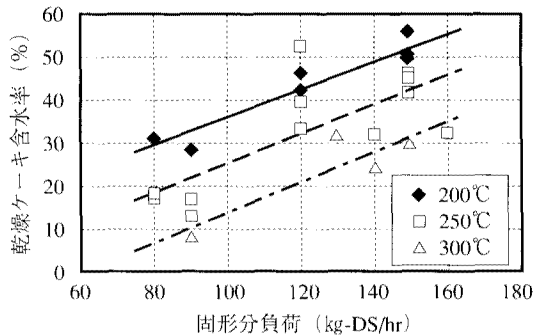


図-6 固形物負荷とケーキ含水率の関係

乾燥ケーキ含水率を10~60%まで任意に制御できる。

#### 4.5 技術資料の構成について

平成10年度および11年度の研究成果を技術資料としてとりまとめた。技術資料の構成を以下に示す。

#### 【本 編】

##### 第1章 総則

資料の目的と適用範囲, 用語の定義, 遠心脱水乾燥機の概要

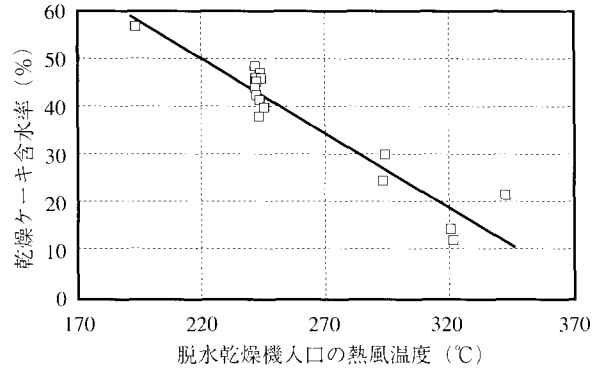


図-7 熱風温度とケーキ含水率の関係

#### 第2章 下水汚泥処理処分の現状と課題

汚泥処理・処分・有効利用の現状と課題

#### 第3章 乾燥汚泥の利用用途

汚泥を乾燥させる場合のメリットと, 遠心脱水乾燥機を適用する場合のメリット

#### 第4章 設計上の基本事項

システムの構成, 性能, 容量計算の方法と計算例, 運転方法等

#### 第5章 維持管理

維持管理の項目, 点検頻度等

#### 第6章 特記仕様書

特記仕様書の作成事例の紹介

#### 【資料編】

モデル設計例(熱収支, 容量計算, 配置計画等) 法規制等の参考資料

## 5. 今後の課題

積極的に普及活動を行い, 早期の実設備導入を目指す。実設備の運転データを収集し, システムの安定性等についての検証を行うべきと考える。

#### ●研究担当者

研究第二部長	篠田 康弘
研究第二部主任研究員	長谷川隆之
研究第二部研究員	神谷 佳宏
研究第二部研究員	久保 善央

#### ●この研究に関する問い合わせは

研究第二部長	中島 卓治
研究第二部主任研究員	市川 裕一
研究第二部研究員	神谷 佳宏
研究第二部研究員	加藤 雅治