

油水分離装置導入による排水処理能力向上と
環境負荷低減効果の解明

2017年7月

大塚俊彦

油水分離装置導入による排水処理能力向上と
環境負荷低減効果の解明

筑波大学大学院

生命環境科学研究科

博士（生物資源工学）学位論文

大塚俊彦

目次

第 I 章 序 論.....	1
1. 油分含有排水の現状と問題.....	1
1-1 油分含有排水の現状.....	1
1-2 油分含有排水が排水処理に与える影響.....	2
1-3 油分含有排水による環境問題.....	4
2. 油分を処理対象とした環境技術.....	7
2-1 グリース阻集器の現状と問題.....	7
2-2 油分を処理対象とした多種多様な環境技術.....	8
3. 多様な環境影響評価手法.....	9
3-1 ライフサイクルアセスメント.....	9
3-2 エコロジカルフットプリント.....	10
3-3 カーボンフットプリント.....	12
3-4 ウォーターフットプリント.....	12
4. 本研究の目的.....	14
第 II 章 油水分離装置導入による排水処理能力の向上と CO ₂ 排出削減.....	15
1. 諸言.....	15
2. 調査対象と解析手法.....	16
2-1 排水処理システム.....	16
2-2 水質分析.....	24
2-3 物質・エネルギーフローと CO ₂ 排出量.....	24
3. 結果と考察.....	28
3-1 水質分析結果.....	28
3-2 物質・エネルギーフロー分析.....	33
3-3 油水分離による CO ₂ 排出削減効果.....	35
4. 結言.....	41

第Ⅲ章 飲食店排水への油水分離装置導入による環境影響評価	43
1. 諸言	43
2. 調査対象と解析手法	44
2-1 調査対象施設	44
2-2 物質・エネルギーフロー	44
2-3 CO ₂ 排出量によるインベントリ分析	48
2-4 Gray water footprint による水環境への影響評価	50
3. 結果と考察	55
3-1 物質・エネルギーフロー	55
3-2 CO ₂ 排出量によるインベントリ分析結果	59
3-3 Gray water footprint による水環境への影響評価結果	61
4. 結言	65
第Ⅳ章 総括と展望	67
1. 本研究の総括	67
2. 今後の課題と展望	69
謝辞	72
参考文献	73
摘要	79
Abstract	81

第 I 章 序 論

1. 油分含有排水の現状と問題

1-1 油分含有排水の現状

動植物性油は、家庭や飲食店等で頻繁に利用され、我々の食生活には欠かすことのできない食材である。そのため、一般家庭、飲食店や食品加工場からは、油分を含む排水が排出される。一般家庭から出る生活排水中の油分は、平均 40 mg/L といわれている。一方、油分が高いとされる飲食店関係の排水中には、120～400 mg/L 程度の高濃度な油分が含まれており、中華料理店などでは平均 400 mg/L 以上示すところもある¹⁾。これら油分を含む排水（以下「油分含油排水」）により、排水処理設備の機能低下、下水道管を含む排水管の閉塞や、悪臭や生態系への悪影響を与える環境問題が発生している。

排水を公共用水域に排出する場合、日排水量 50 m³ 以上の事業場は、水質汚濁防止法で全国一律に規制されており、油分の基準となるノルマルヘキサン抽出物質(以下「n-Hex 抽出物質」)を 30 mg/L 以下にすることが、環境省における排水基準を定める省令²⁾により定められている。しかし、規制対象外となる日排水量 50 m³ 未満の事業場数は、230,225 と全体の約 86.3% であり³⁾、大部分が規制対象外の事業場である。実際、規制対象外の事業場による下水道管の閉塞事例として、ある商店街の食肉類を湯煮する事業場、ラーメン店や中華料理店から排出された油分含有排水による下水道管の閉塞事例が報告されている⁴⁾。下水道管閉塞は、原因者が特定された場合、下水道管の復旧に要した費用の負担を求められるなど、事業者にとって大きな課題となっている⁵⁾。そのため、多くの自治体では、下水道の適切な使用方法や維持管理の指導を行っているが⁶⁾、その対策は使用方法や維持管理の指導に偏っており、技術的な指導や制度的な対策や見直しが求められている⁷⁾。

平成 24 年度における産業廃棄物としての廃油の推計排出量は、321.2 万 t で、そのうち、飲食店や食品加工場など動植物性油と考えられる廃油の推計排出量は、16.8 万 t であった⁸⁾。また、全国油脂事業協同組合連合会によると、平成 24 年における国内食用油の年間消費量は、229 万 t であり、外食産業や食品加工業で消費される食用油は、191 万 t、一般家庭で消費される食用油は 38 万 t であった。消費される食用油のうち、回収・再利用されている油量は、外食産業や食品加工業では、33～35 万 t、一般家庭からは、9～11 万 t であった⁹⁾。そのため、外食産業や食品加工業では、80% 以上、一般家庭では、70% 以上が廃棄物として処理されているか、油分含有排水として排出されていると

考えられる。

一方で、野口らは、日本において、廃棄される年間約 40 万 t の動植物性油うち、回収・再利用されていない約 20 万 t の廃油を、エネルギーの消費を伴わずに回収し再利用した場合、最大 9,070 TJ の熱エネルギーが得られ、628,000t の CO₂削減効果が期待できると報告している¹⁰⁾。

以上より、油分含有排水は、動植物性油が廃棄される主な廃棄過程の一つであると考えられるため、油分含有排水から動植物性油を高効率で回収することができれば、排水処理施設への負荷低減に加え、回収された油分を資源やエネルギーとして活用することができると考えられる。

1-2 油分含有排水が排水処理に与える影響

一般に排水中における油分の存在形態は、油分が層状に浮上している浮上油、油分が油滴として分散している分散油そして、油分が乳化状、すなわち、油滴がコロイド領域の大きさで存在している乳化油の 3 形態である¹¹⁾。油分除害技術の原理を表 1-1 に示す。

表 1 - 1 油分除害技術の原理¹²⁾

原理	処理方法
重力分離	油分と水分の比重差を利用して、油分を浮上させ分離する方法。重力式油分離方式の効率を高める手段としては、油分と水分の比重差を大きくするか、分離に係わる面積を増加させる方法がある。
浮上分離	浮上油に微細気泡を付着させて見かけ比重を小さくすることによって油分を水表面に浮上させて分離する方法。乳化油等に有効である。
加圧浮上分離	油分含有排水に圧力を加えて空気を溶け込ませた後に、大気圧に解放して溶解させていた空気を微細気泡に変え、これに油を付着させて分離浮上する方法。
濾過	重力分離で除去できない油分含有排水を、吸油材を充填した濾過槽に通水して処理する方法。比較的少量の油分を除去するのに用いられる。
微生物製剤による処理	強化馴養微生物、化学物質、増殖促進物質などを含有した粉末物質や液状物質の総称で、微生物を利用した環境浄化方法。環境中に生息して環境修復に有効な微生物を活性化させる方法と汚染物質を分解する能力が高い微生物等を使用する方法に大別される。

排水処理施設へ油分含有排水が流入すると、一次処理では、スクリーン設備の閉塞や、フロートスイッチの誤作動の原因となり、二次処理では、スカムの発生や、生物膜表面に油膜を形成し、悪臭の発生や処理水質の悪化などの要因となる¹³⁾。

小型合併処理浄化槽に油分が流入した場合の影響について室内実験をした結果、生物処理が高効率に行われた結果を得られたが、長期間の流入には維持管理上の問題が懸念されることが指摘されている。加えて、実験で用いた接触曝気槽においては、油分 185～370 mg/L 以上になると処理機能が低下するも確認された¹⁴⁾。

膜分離活性汚泥法において、排水中の油分が生物処理に適正な負荷であれば活性汚泥中の微生物によって分解される。しかし、負荷が過剰になってしまうと油分が生分解されず未分解の油分が残留し、膜の閉塞を引き起こし、安定した膜による濾過処理が行うことができない¹⁵⁾。膜の閉塞が生じている排水処理施設の管理者や使用者は、油分により閉塞した膜に対して薬剤洗浄や膜の交換等が必要となるため排水処理に関する費用が増加する。

そのため、安定的な排水処理を行うためには、排水処理施設に油分を流入させないことが重要となる。

1-3 油分含有排水による環境問題

埼玉県において、鉱物油を含む油分の公共用水域への流出は、平成 27 年度では 115 件と異常水質事故の 54.8%を占めており、このうち、工場・事業場等からの排水によるものが 25 件、車両の事故等によるものが 16 件、工事現場の影響によるものは 1 件、不法投棄を原因とするものが 7 件、そして、原因不明が 66 件であった¹⁶⁾。平成 18 年度～平成 27 年度の油分による水質異常の推移を図 1-1 に示す。各年度も油分の流出による異常水質事故が最も多く報告されている。油分が公共用水域に流出すると、油膜が水面上に広がり水中への酸素の供給が遮断され、水中の溶存酸素濃度が低下し、水生生物の呼吸が阻害され、水生生物を含む水環境へ悪影響を与える。また、公共用水域に排出されると油分の腐敗による悪臭の原因や、油膜の形成により景観を損なうなど人々の親水に対する影響もある。

平成 12 年にはお台場海浜公園にオイルボールが漂着する問題が生じている。このオイルボールの主成分は、動植物の構成成分である脂肪酸が主成分であったため、一般家庭や事業所からの排出された油分が、下水道管や下水処理場に付着・堆積し、オイルボールとなり、雨水とともに押し流されたためと考えられている¹⁷⁾。そのため、東京都

は下水処理場の放流管にオイルフェンスを張る対策や、油分を下水道に流さないように、一般家庭・事業者向けに指導を行っている¹⁸⁾。

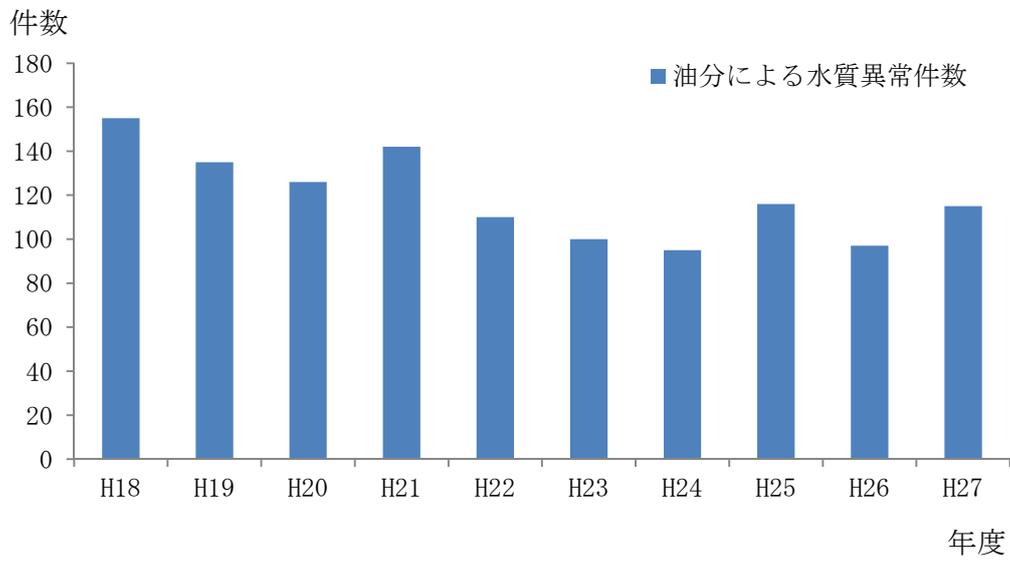


図1-1 埼玉県における油分による水質異常の推移¹⁶⁾

2. 油分を処理対象とした環境技術

2-1 グリース阻集器の現状と問題

油分除害施設として、グリース阻集器(以下「G T」)が一般的に利用されており、中規模事業場から小規模事業場まで多くの事業場で利用されている。G Tは、水分と油分の比重差を利用して油分を浮上分離貯留する装置であり、公益社団法人空気調和・衛生工学会の規格に沿った性能試験を実施し、目標水準を満たした装置が認定される¹⁹⁾。性能試験の方法は、グリース濃度 5,000 mg/L、水温 $42 \pm 2^{\circ}\text{C}$ に調整した排水を供試阻集器へ 10 分間以内に流入させる試験を 70 回繰り返し、阻集効率を算出する。目標とする阻集効率は 95%以上である²⁰⁾。

G Tを設置した大学の学生食堂の排水調査をした結果、G Tによる油分の処理にばらつきがおおきく、阻集効率は 4~15%と性能評価における阻集効率と乖離していることが報告されている。また、調査時には、滞留時間が 1 分以内であり、G Tの設計が不十分な例を指摘している²¹⁾。G Tの阻集効率が低下する理由として、設計時に使用水量が十分想定されてなく、流入水量の変動に耐えられない、維持管理が不十分といった要因が考えられる。

公益社団法人空気調和・衛生工学会の規格では、G Tの維持管理の方法として、1 日 1 回以上の残渣カゴの清掃、1 週間に 1 回以上の浮上油の清掃、ひと月に 1 回以上の G T内の堆積残渣の清掃を推奨しており¹⁹⁾、多くの自治体においても同様な維持管理方法を指導している²²⁾²³⁾。しかし、飲食店を対象にしたアンケート結果では、残渣カゴの清掃を毎日行っている店舗は 1 割にも満たないことや 1 年に数回やほとんどしない飲食店も少なくないことが示された。また、専門業者による清掃はひと月に 1 回から 1 年に 1 回の頻度で行っている飲食店が 30%を占めていたが、ほとんど実施しないもしくは、無回答の店舗が約 6 割以上であることが示された²⁴⁾。この結果より、G Tの維持管理は、清掃に要するコストや人員が必要であることや、不衛生のため維持管理が不十分になりがちであると考えられる。

近年、多くの飲食店では、食器洗浄機が導入、利用されている。食器洗浄機からの排水は、高温・高アルカリのため G T内における油分の分離に影響を与え、阻集効率の低下をもたらす可能性が示唆された²⁴⁾。そのため、食器洗浄機の排水を直接 G T内に流入させない対策や、食器洗浄機を使用する前に G T内の油分を除去する対策を指導している自治体もある²⁵⁾。

G Tは、厨房内のような狭い場所にも設置でき、低価格のため、広く利用されているが、流入水量の変動や、食器洗浄機排水の影響で十分な油分の阻集効果を発揮できず、後段の排水処理施設に油分が流入してしまう問題または、維持管理が十分に行われていないため、長期間貯留された油分が腐敗し、悪臭を発生させる等の問題が生じている。

2-2 油分を処理対象とした多種多様な環境技術

油分を処理対象とした環境技術は数多く開発されている。これら環境技術は、油分含有排水中の油分を油吸着材などで直接分離・回収する物理処理方式²⁶⁾、オゾンなどを利用した化学的な反応により油分を分解する化学処理方式²⁷⁾、油分を分解する酵素や微生物を利用する生物処理方式²⁸⁾に大別する事ができる。

生物処理方式では、既存のG Tを爆気し、微生物製剤を毎日一定量注入する方法が主流である。このような方法においては、微生物の油分分解能と生存の維持が重要となると考えられ、効果の疑わしいものも少なくない²⁹⁾。また、化学処理方式、生物処理方式は、G T内の滞留時間が短いため、期待される処理効果が得られにくいと考えられる。加えて、G T内を爆気・攪拌するため、浮上分離していた油分や堆積残渣が流出することになる。そのため、公益社団法人空気調和・衛生工学会の規格や自治体では、G T内を爆気する装置を追加設置することを禁止している²⁰⁾³⁰⁾。

独立行政法人国民生活センターでは、一般家庭向けの食用油処理剤を調査している。この食用油処理剤は、食用油に水とともに加え、かき混ぜたあと、排水口に流す処理方法である。調査結果からは、食用油処理剤で処理しても、処理水中に含まれる油分量は変化しなかったこと、処理水を静置しておくこと、すぐに分離が始まり、処理した状態が長時間保つことができなかったこと、処理水中のBOD、COD濃度から有機物による環境負荷の低減効果がないこと、そして食用油500mlを処理し、排水した場合、水環境を回復させるには、およそ3,000L~7,000Lの大量の水が必要になることが示されている。また、調査対象の食用油処理剤は、環境に係る表示があり、環境性からみてそのまま処理水を排水してよいと受け取れる可能性も指摘された³¹⁾。

このように、油分を処理対象とする環境技術の需要はあるものの、処理原理が明確でない環境技術や処理効果の期待できない環境技術など数多く商品化されている。そのため、これら環境技術を使用するユーザーは、導入する環境技術を見分ける必要がある。そこで、環境技術導入による環境負荷低減効果を客観的に示す手法の確立が必要であると考えられる。

3. 多様な環境影響評価手法

3-1 ライフサイクルアセスメント

製品やサービスの生産、使用、廃棄過程において、排水、排気ガスや廃棄物など様々な環境負荷物質が排出されている。そのため、持続可能な社会を形成するためには、製品やサービスに伴う環境影響をきちんと把握する必要があると考えられる。

ライフサイクルアセスメント(以下「LCA」)は、ある製品やサービスを生む出す資源の採掘から製造、使用・利用、廃棄段階までのライフサイクル全体を考慮して、資源消費量や排出物量を計量するとともに、その環境への影響を評価する手法である³²⁾。

LCA は、1969年にアメリカのコカ・コーラ社がリターナブルびんとワンウェイ容器の選択に関する研究に用いたのが始まりであるとされている。その後、LCA は、世界的に利用されるようになり、1993年に国際規格の作成が開始された。1997年には最初の規格である「原則及び枠組み」がISO14040として発行され、ISO14041「目的と調査範囲の設定並びにインベントリ分析」、ISO14042「影響評価」、ISO14043「解釈」の規格が順次発行されてきた。2006年には規格が見直され、新しいISO14040とISO14044の2つの規格が発行された。新しいISO14040はLCAの考え方と枠組みを示した規格であり、ISO14044を引用することを唯一の要求事項とする規格となっており、ISO14044がISO14041、ISO14042、ISO14043を網羅している³³⁾。

LCAにおける「目的および調査範囲の設定」では、LCAを実施する目的を明確にし、目的に沿ったシステム境界の設定と、調査項目を整理する。また、評価対象の機能を特定し、評価基準となる機能単位を設定する。

「インベントリ分析」は、設定した目的とシステム境界内で調査対象に投入されるエネルギー、資材、資源や、排出される環境負荷物質や廃棄物などのデータを収集し、整理する工程である。

「影響評価」では、インベントリ分析で得られた環境負荷物質のデータを影響領域に振り分ける分類化、影響領域に分類した環境負荷物質をその効果に応じた重みづけをする特性化がある。特性化のなかには、特性化で求めた環境影響量が、特定の範囲でどの程度の影響度を持つのかを検討する正規化と、複数の環境影響量に重みをつけて単一指標とする統合化がある。ISO14044のなかでは、正規化と統合化は任意要素となっている。

「解釈」では、結果の分析を実施し、結論に達するとともに得られたインベントリ分析結果や影響評価から重要な環境問題を特定する。また、分析手法やデータの評価も併せて行う³⁴⁾。

現在、LCA を用いて自社製品の環境負荷を評価し、より環境に配慮した製品の開発に努める企業が増えている³⁵⁾³⁶⁾。また、LCA 手法を用いて、製品のライフサイクルにおける環境情報を開示するエコリーフ環境ラベルという取り組みが行われている。エコリーフ環境ラベルは、客観的な環境情報の公開に止めており、判断は読み手に委ねている。同じ分類の製品における環境負荷は、基本的に同一条件で算出されるため、製品間の比較が容易であることや、読み手にわかり易い配慮がされている。エコリーフ環境ラベルは、日用品、衣類、工業製品、運輸や、流通といったあらゆる製品が対象となっており³⁷⁾、環境に配慮した製品を使用したいユーザーにとっての判断材料となっている。

3-2 エコロジカルフットプリント

エコロジカルフットプリントは、ウィリアム・リースらによって提案された環境影響評価手法であり、人為的な生産・消費活動や、活動に伴う環境負荷を足し合わせて、環境への影響を土地面積に変換して評価しようという指標である³²⁾。エコロジカルフットプリントで用いられる土地区分の例を表1-2に示す。

公益財団法人世界自然保護基金ジャパンの報告によると、日本の1人あたりのエコロジカルフットプリントは、4.17 gha であり、世界平均の2.7 gha の約1.55倍であった。その内訳は、エネルギー地が64%、耕作地12%、生物生産力のある海域9%であった。また、日本の資源や食糧は大部分を輸入に頼っている状況が示されており、日本に輸入されたエコロジカルフットプリントの内訳は、エネルギー地が47%、耕作地24%、森林地11%であった。世界中の人が平均的な日本人と同じように生活すると、2.3個の地球が必要であることも示されている³⁸⁾。

エコロジカルフットプリントは、製品やサービスに関する分析だけでなく、国同士や地域の比較評価にも利用することができる。そのため、持続可能な社会に向けた評価・分析ツールとして注目されている。

表 1-2 エコロジカルフットプリントに用いられる土地区分の例³²⁾

土地の種類	使用用途
耕地	穀物や豆類など主要な農作物を生産するための土地
牧草地	牛や羊などの食肉製品、酪農製品を生産するための土地
森林地	紙・パルプ、木製品を生産するための土地
生物生産力のある海域	漁業が行われている主に沿岸部
生産阻害地	住宅や構造物などで覆われた土地
エネルギー地	化石燃料の消費に伴い発生した CO ₂ の吸収に必要な土地

3-3 カーボンフットプリント

カーボンフットプリントは、製品やサービスのライフサイクル全体において排出される温室効果ガス排出量を CO₂ に換算して評価する手法である。カーボンフットプリントの対象となる温室効果ガスは、CO₂、CH₄、N₂O、HFC、PFC、SF₆ の 6 種類である。企業におけるカーボンフットプリントの利用として、カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム(CFP 制度)が実施されており、製品のライフサイクル全体で排出される温室効果ガス量がカーボンフットプリントマークとして表示される³⁹⁾。CFP 制度に参加している企業は、ユーザーに対して環境に配慮した製品・商品であることのアピールに繋がると考えているだけでなく、ライフサイクル全体を通じた CO₂ 排出量のホットスポットの把握等がある⁴⁰⁾。

カーボンフットプリントマークに対するユーザーの意識調査の結果、カーボンフットプリントマークの活用として、商品間の温室効果ガス排出量を比較するという回答が最も多かったが、3 割弱のユーザーが変化はない、または分からないと回答していた。このため、単純に排出量を表示していることだけでは購買行動に影響を与えないことが示唆された。また、好きな商品よりも温室効果ガス排出量が少ない商品を選ぶのは、電化製品などのエネルギー消費に関する商品やティッシュペーパーのように環境影響を意識しやすい商品が選択されやすく、食品類や嗜好性高い酒類には影響が少ないことが確認されている。カーボンフットプリントに対するユーザーの意見は、肯定的なものが多く、重要性を認識している一方で、購買行動に結びつけるには、情報の信頼性や、表示内容を理解するための情報開示が重要であると推察されている⁴¹⁾。

3-4 ウォーターフットプリント

利用できる淡水の量は限られているため、世界的な人口の増加、新興国の都市化・工業化に伴う水需要の増加による深刻な水不足に陥ることや、水利用に伴う環境汚染物質排出による環境影響が懸念されており、水環境に関する問題が注目されている⁴²⁾。カーボンフットプリントやエコロジカルフットプリントでは、水利用に関する潜在的な環境影響を評価するのは困難であると考えられるため、ウォーターフットプリント（以下、「WF」）の開発が進められており、ISO14046 として 2014 年 7 月に規格化された。ISO 規格策定を行う主な目的として、WF 算定結果の報告に関する信頼性の確保、水の評価が困難な ISO14040、14044 に代わる手法の確立や、複数の団体による WF 算定手法の乱立防止とされている⁴³⁾。

WF は、環境への影響を評価することを目的としているため、ライフサイクル全体で使用した水量を単純に積み上げるのではなく、水利用によって生じる水量や水質の変化を捉え、その変化が環境に与える影響を評価する手法である。その際に用いられる影響評価手法は、特定の手法が用いる事が義務付けられておらず、評価者自身が WF 算定の目的等に合わせて、適切な影響評価手法を選択する必要がある。国際的に広く用いられている Water Footprint Network が提案している WFN 型 WF は、水質汚染を Gray Water Footprint (以下「WF_{gray}」)として水量に換算することで、ライフサイクル全体で消費される水消費と排出される水質劣化の 2 つの影響を水量に統合して影響評価結果を示す点に特徴がある。WFN 型の WF の算出は、表流水や地下水のうち消費された水量を表す Blue water footprint, 雨水のうち作物に取り込まれた水量と土壌中に水分として蓄えられた水量を表す Green water footprint, システム境界外に排出される環境負荷物質を環境基準まで希釈するのに必要な水量を表す WF_{gray} を合計することによって求められる⁴⁴⁾。

国際連合が提唱している Sustainable Development Goals 17 の Goal 6 に Ensure access to water and sanitation for all が挙げられており、水環境を取り巻く問題は世界的にも重要な課題である⁴⁵⁾。そのため、WF の果たす役割は大きいと考えられるが、WF を用いた事例はまだ少なく、今後の発展や活用が期待される。

4. 本研究の目的

油分含有排水に起因する環境問題や排水処理の処理機能低下といった事例は頻繁に発生している。そのため、油分を処理対象とする環境技術の需要があり、様々な環境技術が開発されているが、処理原理等が不明確な技術も多く、十分な処理機能を発揮できていない。よって、これら環境技術を導入するユーザーは、導入する環境技術を見分ける必要がある。また、環境技術導入により得られた有価物を再利用したことにより、環境負荷低減効果や作業工程の改善が期待される。しかし、環境技術を導入した場合の体系的かつ客観的な評価手法は十分に整備されていないため、環境技術導入による環境負荷低減効果を客観的に示す手法の確立が必要であると考えられる。

本論文では、油分含有排水から油分と水分の比重差を利用して、油分を回収する油水分離装置に着目し、油水分離装置導入による排水処理施設への負荷低減効果の検証と、油水分離装置導入による総合的な環境影響評価手法の確立を目的とした。そこで、油水分離装置を導入した食品加工場と飲食店の詳細な物質・エネルギーフローによる解析結果を基に、有価物の再利用に伴う CO₂ 排出量削減効果ならびに、WF_{gray} を用いた排水による環境影響評価手法を考察した。

第Ⅱ章 油水分離装置導入による排水処理能力の向上と CO₂ 排出削減

1. 諸言

高濃度な油分含有排水(以下「油分含有排水」)を処理するには、排水処理施設への油分の流入を防ぐための除外施設の設置や、排水処理施設の負荷増大に対応するために施設規模を拡大する必要がある。また、油分含有排水は、下水道の閉塞、排水処理施設の機能低下を引き起こす。そのため、油分含有排水は、下水道や排水処理施設の建設費用や維持管理費を増加させる。事業者から家庭まで幅広く用いられている排水処理施設における膜分離処理では、排水中の油分が適正な範囲を超えて高濃度になると、生分解されない油分が膜に残留して膜の閉塞を引き起こし、排水処理機能が損なわれるとともに、排水処理費用が増加する¹⁵⁾。一方で、油水分離装置をG Tの前段に設置した結果、浄化槽の処理性能に見合った流入水を得ることができ、油分含有排水における処理の可能性が示されている⁴⁶⁾。そのため、適切な排水処理を行うためには、油分含有排水から油分を分離・回収することが必要である。

日本において、廃棄される年間約 40 万 t の動植物性油うち、回収・再利用されていない約 20 万 t の廃油を、エネルギーの消費を伴わずに回収し再利用した場合、最大 9,070 TJ の熱エネルギーが得られ、628,000 t の CO₂ 削減効果が期待できると報告している¹⁰⁾。そのため、油分含有排水から油分を高効率かつ大量に回収することができれば、排水処理施設への負荷を抑えるとともに、回収された油分を資源やエネルギーとして活用することができる。

そこで、第Ⅱ章では、油分含有排水への油水分離装置導入による、排水処理能力の向上と油水分離装置により得られた回収油の有価物としての再利用による CO₂ 排出削減効果の推定手法の確立を目的とした。そこで、油分含有排水を取り扱う食品加工場の排水処理システムを対象として、油水分離装置導入後の排水の水質分析結果、食品加工場全体の物質・エネルギーフロー解析結果から考察を行った。

2. 調査対象と解析手法

2-1 排水処理システム

本研究では、(株)直江津油脂(新潟県上越市大字東中島 2447) (以下「N社」)の、主に鶏ガラを生産する食品加工場の排水処理システムを対象とした。この食品加工場では、廃鶏がボイル槽でボイルされ、洗浄水で冷却、洗浄した後、加工、袋詰され、鶏ガラ製品として出荷される。ボイル槽からの越流水は油分含有排水であり(写真2-1)、この越流水が排水処理施設へ直接流れ込むと、排水処理施設の負荷が増加する。N社の食品加工場では、工場ライン拡張時に油分含有排水の一次処理として、鶏ガラボイル槽からの越流水の処理のために、油水分離装置(写真2-2)を排水処理システムへ導入した(写真2-3, 写真2-4, 写真2-5)。回収した油は焼却炉の重油代替燃料として使用していた。



写真 2 - 1 ボイル処理工程



写真 2 - 2 油水分離装置の外観



写真 2 - 3 排水処理施設全体



写真 2 - 4 計量槽及び凝集反応槽



写真 2 - 5 曝気槽及び膜分離槽

一般的に、排水処理施設の除外施設により除去された油分は産業廃棄物として処理されるため、N社の食品加工場のように、排水中の油分を回収し重油代替燃料としての再利用は、まだ一般的でない。しかし、食品加工場や飲食店の稼働率の向上や規模拡大による、油分含有排水に由来する問題は数多く存在しているため、N社の食品加工場の事例を評価することは食品産業をはじめとする油分含有排水問題における環境負荷低減に効果があると考えられる。そこで、本研究では、N社の排水処理システムを調査対象とし、油分濃度低下による排水処理施設への負荷低減効果を明らかにするとともに、油水分離装置により得られる有価物のCO₂排出量削減効果による環境影響評価手法の確立を行った。

油水分離装置導入前後の排水処理システムの流れを図2-1に示す。

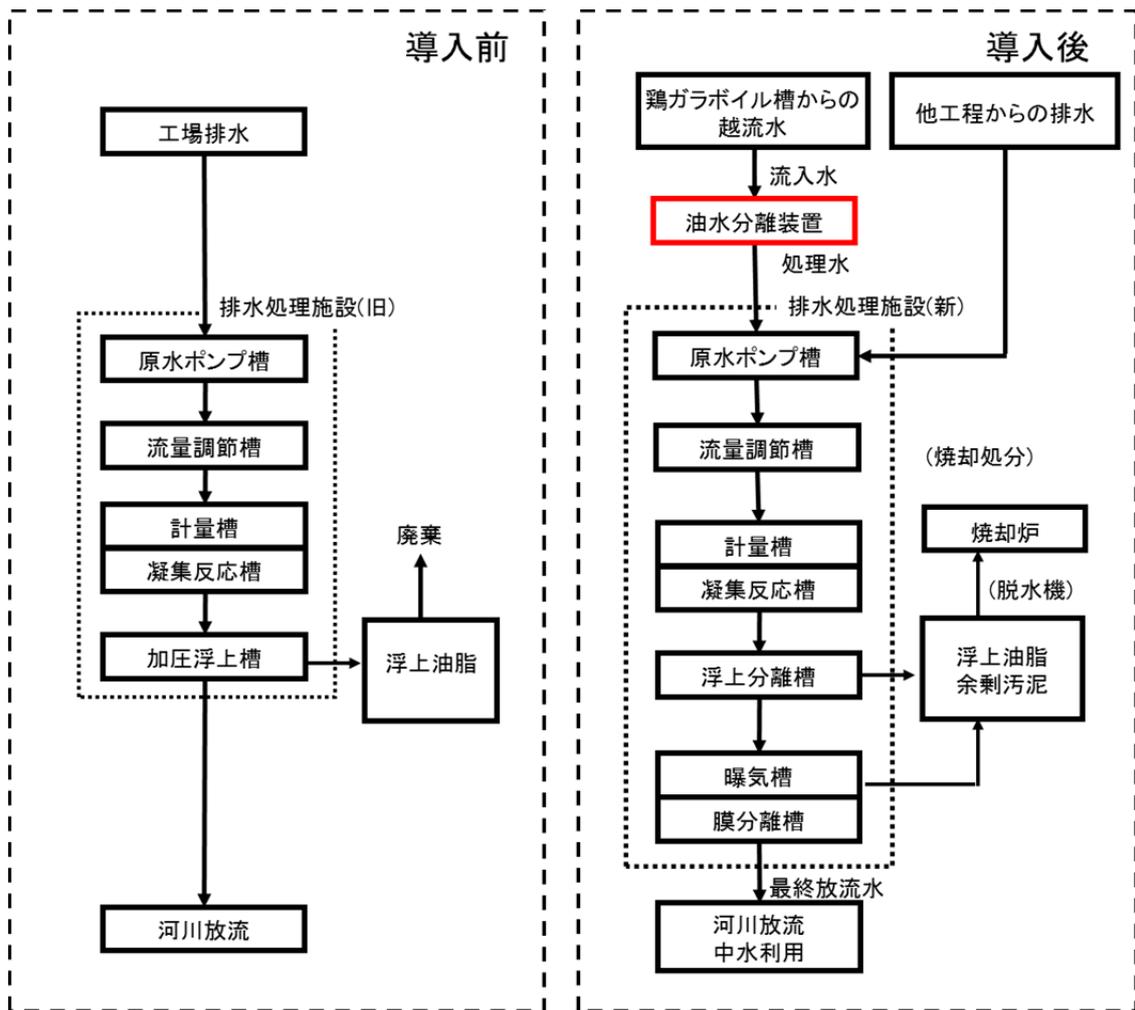


図 2 - 1 油水分離装置導入前後における排水処理システムの比較

導入前では全ての工場排水が原水ポンプ槽へ直接流入し処理されていた。導入後は、鶏ガラボイル槽の越流水のみ油水分離装置により一次処理されていた。油分が回収された排水ならびに他工程からの排水は、排水処理施設の原水ポンプ槽に流入した後に、浮上分離槽・膜分離活性汚泥法による排水処理施設へ送られた。また、導入前は、加圧浮上槽で得られた浮上油脂(フロス)は、油分濃度が高いため焼却炉内の温度管理が難しく、焼却炉が破損する恐れがあるため、余剰汚泥と共に廃棄物として外部で焼却処分していた。しかし、導入後は、浮上油脂の油分濃度が低下し、焼却炉が破損しない燃焼温度を保つことが可能となった。また、N社の食品加工場では、油水分離装置、浮上分離槽を用いて、排水中の油分濃度を低下させ、膜分離処理を可能にしていた。2013年2月調査時点で、排水処理システムに油水分離装置を導入して4年近く経過するが、膜の閉塞は一度も発生していなかった。

2-2 水質分析

2010年11月24日～26日に水質調査を実施した。油水分離装置への流入水は、油水分離装置への流入口で流入があった際に、採水用具で一定量採水した。処理水は、油水分離装置からの排水口に採水管をセットし、ペリスタポンプにて連続採水した。排水処理施設後の最終放流水は、排水路に採水容器をセットし、一定量採水した。得られた試料に対して、水質分析を実施した。油水分離装置への流入水と処理水に対しては、油水分離装置の油分除去能力を調査するために、排水中の油分濃度の目安となるn-Hex抽出物質を測定した。排水処理施設での膜分離処理後の最終放流水は、公共用水域への放流、植木用水、冬季での融雪水に利用している。よって、n-Hex抽出物質、河川的生活環境の保全に関する環境基準⁴⁷⁾からBOD、SS、pH、および河川や湖沼の富栄養化の原因とされる全窒素、全リン、計6項目を行った。水質分析法は、JIS K0102に定められた方法⁴⁸⁾で行った。

2-3 物質・エネルギーフローとCO₂排出量

調査対象であるN社の食品加工場の物質・エネルギーフロー、およびCO₂排出量を算出するインベントリ分析のシステム境界を、鶏ガラ生産工程の鶏ガラボイル槽へスチームを供給するスチームボイラーから、排水処理施設から排出される浮上油脂や余剰汚泥を焼却する焼却炉までとした。工場拡張に伴う排水処理システムの更新の際に、排水処理施設の規模ならびに処理方式が変更されており、単純な油水分離装置の導入前後の

比較は難しい。そこで、工場拡張後において、油水分離装置を導入した排水処理システムと油水分離装置を導入しない排水処理システムを比較した。なお、導入前の事例に関しては、油水分離装置を導入しない場合の参考として用いた。

スチームボイラー、排水処理施設、油水分離装置による資源エネルギー消費に伴う直接利用工程、焼却炉、油水分離装置、排水処理施設の建設の際に排出される間接利用工程、さらに、回収油、浮上油脂を焼却炉の熱源として利用する資源再利用工程に分け、建設費と維持管理費の調査を行うとともに、CO₂排出によるインベントリ分析を行った。なお、インベントリ分析におけるスチームボイラー建設によるCO₂排出量は、油水分離装置による回収油の再利用の有無に直接影響を受けないので計上しなかった。また、回収された油分の運搬エネルギーと、浮上油脂と余剰汚泥の脱水のためのエネルギーは僅かであるため、計上しなかった。

各施設に投入されている資源・エネルギーのCO₂排出原単位を表1に示した。表1において、燃料、灯油については、製造ならびに直接燃焼時のCO₂排出原単位を、電力は製造時のCO₂排出原単位を示した。なお、各施設の価格について、2010年を100とした製造業部門別投入・産出物価指数⁴⁹⁾により補正をおこなった。また、回収油は鶏油であることやN社の食品加工場で製造している製品が、豚や鶏を加工した食品であることから、回収油、浮上油脂共に動物油の比重0.913⁵⁰⁾を用いた。

インベントリ分析では、各工程の一日当たりのCO₂排出量は、表2-1に示されるCO₂排出原単位(代表値)をそれぞれの投入された量に掛け合わせ求めた。

各プロセスへの品目別投入量を I_i 、データベースのCO₂排出原単位 D_i とすると各工程におけるCO₂排出量は T_i を用いて、

$$T_i = I_i \times D_i \quad (2-1)$$

とした。また、間接利用工程では、各設備が、常時設置、稼働していることから、各施設使用時以外にも間接利用工程によるCO₂排出量に関わると考えられる。そのため、購入価格といったデータベースで使用できる単位の量を、各施設の経済寿命を考慮した設置日数で按分して一日当たりの各施設への品目別投入量を求めた。

各施設の経済寿命 L_i [年]、購入価格といったデータベースで使用できる単位の量を M_i から、一日当たりの各プロセスへの品目別投入量 I_i は、

$$I_i = \frac{M_i}{L_i \times 365} \quad (2-2)$$

とした。

表 2 - 1 CO₂排出原単位

施設/資源エネルギー		CO ₂ 排出原単位 量	単位
直接利用工程			
スチームボイラー	電力(製造時) ⁵¹⁾	0.56	kg-CO ₂ /kWh
	燃料(A 重油) (製造時) ⁵²⁾	709	kg-CO ₂ /kL
	灯油(製造時) ⁵²⁾	729	kg-CO ₂ /kL
	燃料(A 重油) (直接燃焼時) ⁵³⁾	2.71	kg-CO ₂ /L
	灯油(直接燃焼時) ⁵³⁾	2.48 9	kg-CO ₂ /L
排水処理施設	電力(製造時) ⁵¹⁾	0.56	kg-CO ₂ /kWh
	薬品(凝集剤, ポリ硫酸第二鉄) ⁵²⁾	53	kg-CO ₂ /万円
油水分離装置	電力(製造時) ⁵¹⁾	0.56	kg-CO ₂ /kWh
間接利用工程			
	焼却炉(経済寿命 15 年) ⁵²⁾	52	kg-CO ₂ /万円
	排水処理施設(経済寿命 15 年) ⁵²⁾	69	kg-CO ₂ /万円
	油水分離装置(経済寿命 15 年) ⁵²⁾	62	kg-CO ₂ /万円
資源再利用工程			
	浮上油脂* (直接燃焼のみ) ⁵³⁾	2.71	kg-CO ₂ /L
	回収油* (直接燃焼のみ) ⁵³⁾	2.71	kg-CO ₂ /L

※ 回収油, 浮上油脂ともに焼却炉の A 重油代替燃料として利用されているため CO₂ 排出原単位を重油相当とした。

3. 結果と考察

3-1 水質分析結果

油水分離装置への流入水と処理水の水質調査結果を表 2 - 2, 図 2 - 2 に示す.

分析結果から, 流入水の n-Hex 抽出物質は 160,000~490,000 mg/L, 処理水の n-Hex 抽出物質は 960~8,200 mg/L となった. 調査時間ごとの排水からの油分濃度減少率は 94.9~99.8%であった. 油水分離装置への流入水の濃度変動が大きい理由は, ボイル釜で煮沸, 冷却, 洗浄といったボイル作業が行われ, ボイル作業による越流水が, 間欠的に油水分離装置へ流れているからだと考えられる.

表 2 - 2 油水分離装置の水質調査結果 (n-Hex 抽出物質)

調査日/採取時間		流入水 [mg/L]	処理水 [mg/L]	油分濃度減少率 [%]
2010年	9:00~10:00	490,000	960	99.8
11月25日(木)	10:00~12:00	160,000	8,200	94.9
	13:00~13:30	210,000	1,800	99.1
2010年	13:30~14:00	340,000	1,100	99.7
11月26日(金)	14:00~14:30	200,000	2,200	98.9
	14:30~15:00	360,000	3,200	99.1

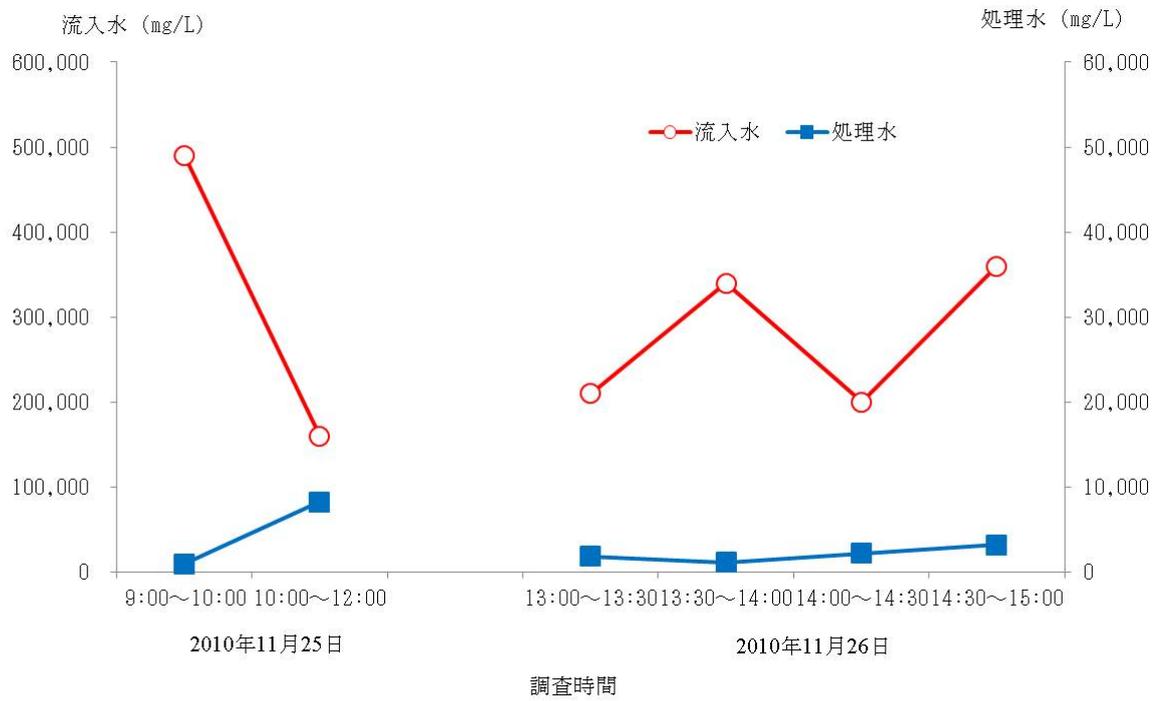


図 2 - 2 油水分離装置の水質調査結果 (n-Hex 抽出物質)

水処理施設による最終放流水の水質調査結果を表 2 - 3 に示す。油水分離装置導入前の排水処理施設の水質は、BOD が 963 mg/L、SS が 736 mg/L、n-Hex 抽出物質が 1,110 mg/L であった⁵⁴⁾。N 社の食品加工場は、日排水量約 40 m³ の事業所であるため、水質汚濁防止法の規制対象外となるが、油水分離装置導入後における排水処理施設の機能向上を示すために、規制基準と比較した。油水分離装置導入後における排水処理施設後の最終放流水質は、n-Hex 抽出物質、BOD、SS は規制基準値以下であり、全窒素が 19.5~24.7 mg/L、全リンが 18.7~20.0 mg/L であった。n-Hex 抽出物質、BOD、SS、ならびに全窒素、全リンの調査結果から、排水処理施設によって環境基準を満足した最終処理水となることが確認された。油水分離装置導入後の浮上分離槽処理水は、BOD が 929 mg/L、n-Hex 抽出物質が 130 mg/L であった。導入前では加圧浮上槽処理水を放流していたため、その分析値と比較すると、n-Hex 抽出物質が 88.2% 程度減少した。また、油水分離装置の流入水ならびに処理水の n-Hex 抽出物質は、94.9%~99.8% の濃度低下が示された。排水処理施設からの最終放流水の n-Hex 抽出物質は、油水分離装置による処理水の 0.260% 以下まで低下していた。よって、油水分離装置の流入水、処理水ならびに排水処理施設からの最終放流水ともに、各調査時間において単一検体の分析結果であるが、それぞれの濃度差は大きく、有意な差があると考えられる。また、最終放流水は、検水量、ブランク値に応じた下限値を採用しており、分析時の誤差によるばらつきを排除することができるため、数値の信頼性があると考えられる。

これらの結果と、排水中の油分濃度が高濃度な場合には膜分離処理が機能不全に陥ること³⁾から、排水処理工程の上流側に油水分離装置を導入し、排水処理工程の上流側で負荷の高い油分を予め除去することによって、排水処理施設が十分な性能を発揮できることが明らかとなった。

表 2 - 3 排水処理施設における最終放流水質調査結果(採水日 2010 年 11 月 25 日)*

採水時間	n-Hex 抽出物質 [mg/L]	BOD [mg/L]	SS [mg/L]	pH	全窒素 [mg/L]	全リン [mg/L]
11:00	2.5 未満	0.567	10 未満	6.5	24.3	20.0
12:00	2.5 未満	0.5 未満	10 未満	6.5	24.7	20.0
13:00	2.5 未満	0.5 未満	10 未満	6.5	24.3	19.7
14:00	2.5 未満	0.5 未満	10 未満	6.6	23.2	19.4
15:00	2.5 未満	0.5 未満	10 未満	6.7	21.2	19.3
16:00	2.5 未満	0.5 未満	10 未満	6.8	19.5	18.7

※ 試料の採水量における定量下限値以下のため未満とした。

3-2 物質・エネルギーフロー分析

N社の食品加工場全体の物質・エネルギーフローを図2-3に示す。鶏ガラ製造工程では、スチームボイラーから供給される加熱水蒸気がボイル槽内で凝集し、ボイル工程を行っていた。焼却炉において排水処理施設より生じた浮上油脂 600 kg/day(発熱量 20,200 kJ/kg, 水分 29.6%, 油分 68.0%)と、汚泥 70~80 kg/day を焼却処理し、排熱利用による熱湯を清掃時に利用するとともに、焼却灰 10 kg/day をリン肥料として外部へ販売していた。また、油水分離装置により 200 kg/day の油分が回収され、浮上油脂、汚泥焼却処理用のボイラー燃料として使用されていた。導入された油水分離装置は、排水の流速を制御し、比重分離によって効率的に排水中の油の分離を行っているため、薬品等の使用はなく油分や油分が除去された排水の変性はなかった。動物性油を含む廃食油は、燃料性状が不均一になるため⁵⁵⁾、バイオディーゼル燃料を製造するより、直接燃焼から得られる最終エネルギーを利用する方が、適正な利用方法であると考えられる。

ボイル工程、スチームボイラーから排出される熱は、低温排熱のためエネルギー利用はできなかった。一方で、生産ラインに関する電力使用量は、排水処理施設が最大 345 kWh/day、スチームボイラーが 8.00 kWh/day、油水分離装置が 0.120 kWh/day となった。排水処理施設と比較すると、スチームボイラーの電力使用量は約 1/43 であり、油水分離装置はほぼゼロであった。導入されている油水分離装置は比重分離によって油と水を分離することから、通常は油水分離装置内のヒーターで分離を促進させるため、消費電力のエネルギーが加算される。しかし、今回対象となったN社の食品加工場では、排水の温度が油と水を分離できる十分な温度であったため、油水分離装置のヒーターのためのエネルギーは不要であった。

油分が流入することで、排水処理施設への負荷は増大するため、排水を処理するには曝気強度を上げる必要がある。しかし、油水分離装置による負荷低減ならびに、油水分離装置の電力使用量が僅かなことから、油水分離装置導入は、排水処理施設における曝気装置の電力使用量を抑える効果があると考えられる。

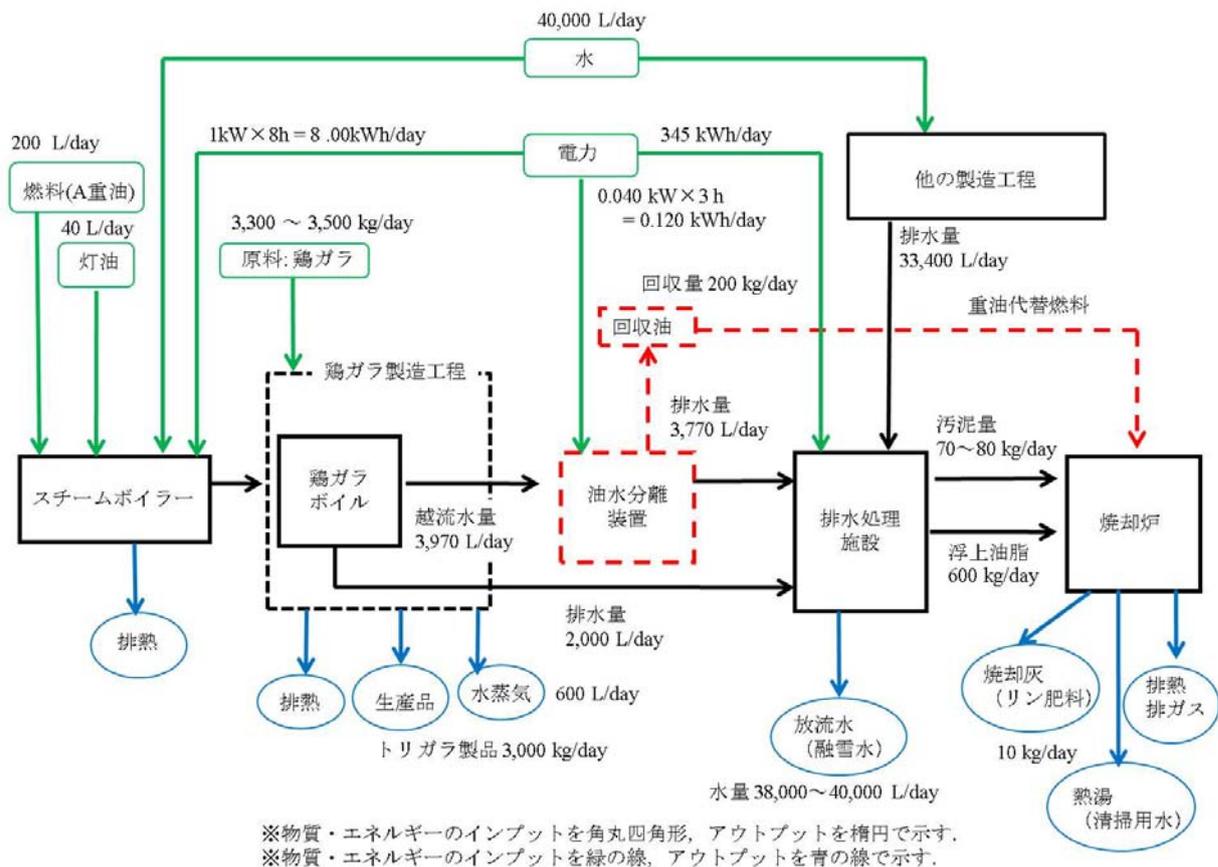


図 2-3 N 社の食品加工場の物質・エネルギーフロー

3-3 油水分離装置による CO₂ 排出削減効果

CO₂ 排出原単位(表 1), 物質・エネルギーフロー(図 3)の結果から, 各工程の 1 日当たりの CO₂ 排出量を算出した. CO₂ 排出の計算結果を表 2-4 に, 各工程における CO₂ 排出量の割合を図 2-4, 図 2-5 にそれぞれ示す.

表 2-4 各工程における一日当たりの CO₂ 排出量

		資源エネルギー		CO ₂ 排出量
	名称	量	単位	[kg-CO ₂ /day]
直接利用工程				
スチームボイラー	電力 (製造時)	8.00	kWh/day	4.48
	燃料(A 重油) (製造時)	200	L/day	142
	燃料(A 重油) (直接燃焼時)	200	L/day	542
	灯油 (製造時)	40	L/day	29.2
	灯油 (直接燃焼時)	40	L/day	99.6
排水処理施設	電力 (製造時)	344.5	kWh/day	193
	薬品 (凝集剤, ポリ硫酸第二鉄)	111,056	円/month	19.3
油水分離装置	電力 (製造時)	120	Wh/day	0.0672
小計				1,030
間接利用工程				
	焼却炉* (経済寿命 15 年)	2500	万円	23.3
	排水処理施設* (経済寿命 15 年)	6000	万円	74.3
	油水分離装置* (経済寿命 15 年)	1700	万円	18.9
小計				117
資源再利用工程				
	浮上油脂*** (直接燃焼のみ)	600	kg/day	1,210
	回収油 (直接燃焼のみ)	200	kg/day	594
小計				1,800
合計				-659

※ 2010 年を 100 とした製造業部門別投入・産出物価指数¹²⁾により補正をおこなった。

※※浮上油脂の成分分析の結果, 68.0%が油分である。

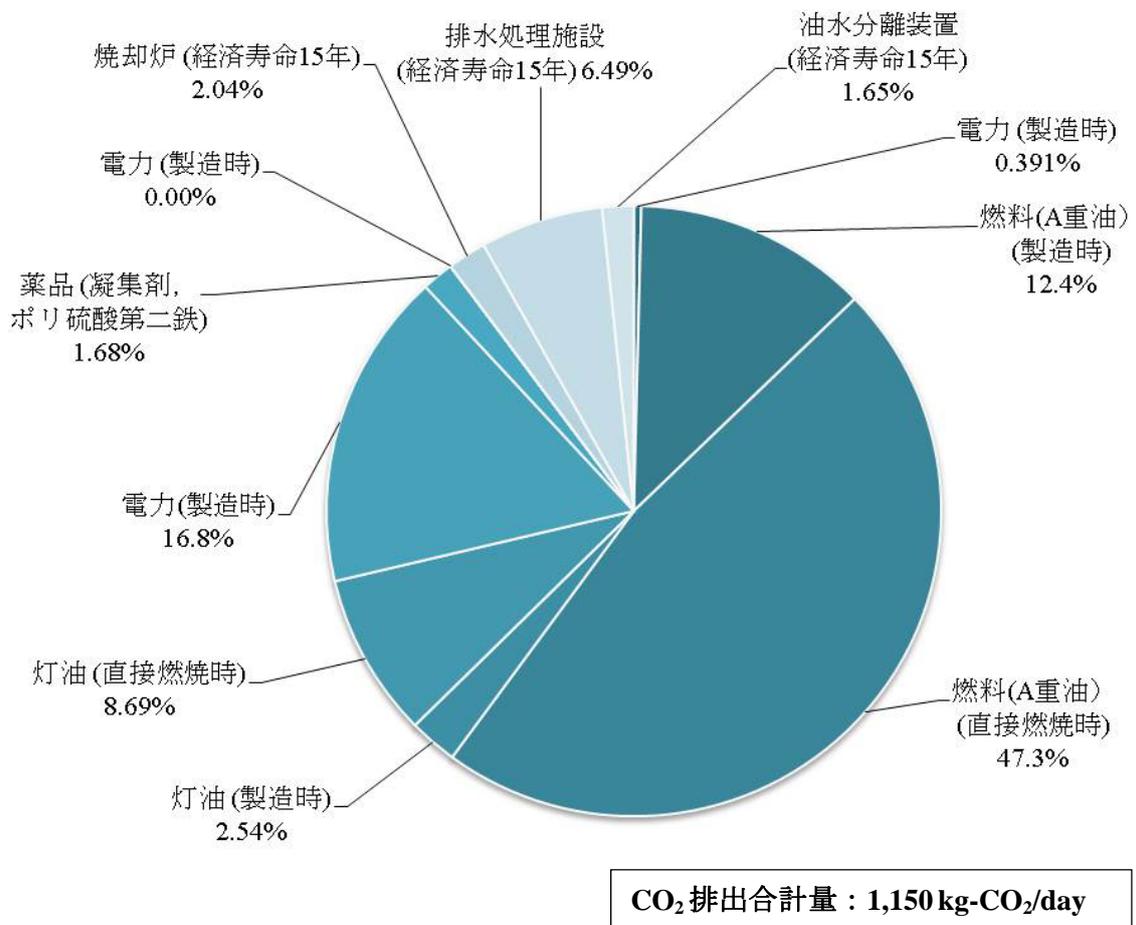
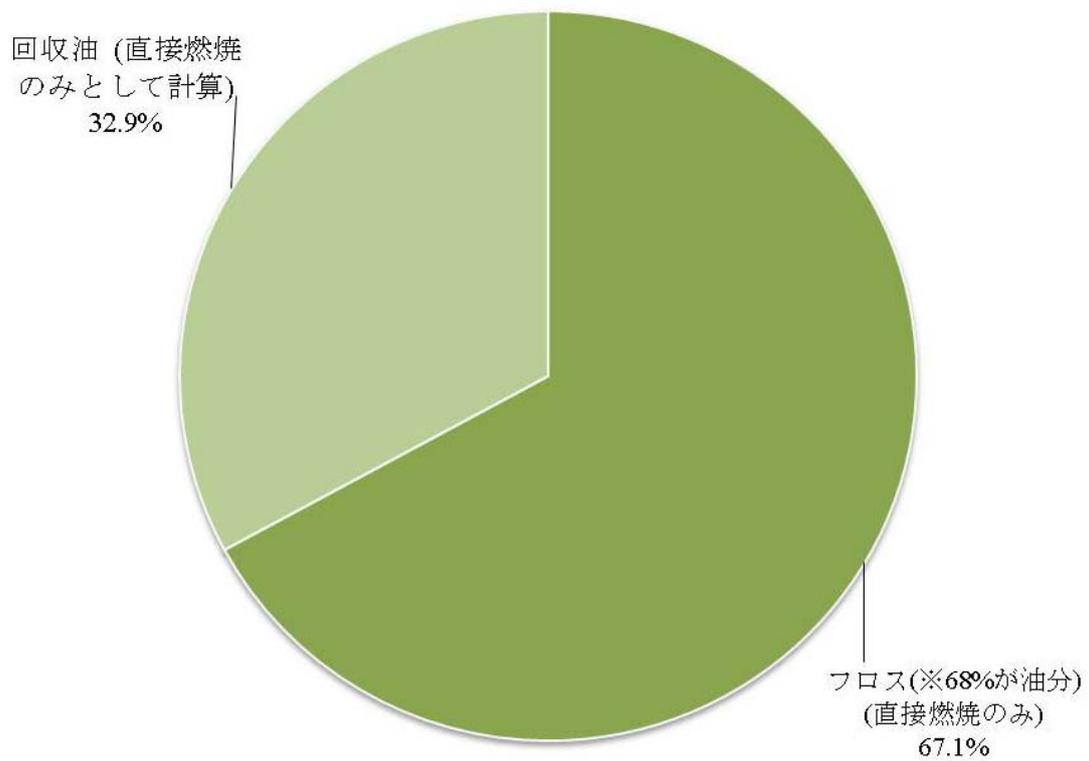


図 2 - 4 直接利用工程と間接利用工程での CO₂ 排出量とその割合(CO₂ 排出分に相当)



CO₂ 排出合計量 : -1,810 kg-CO₂/day

図 2 - 5 資源再利用工程での CO₂ 排出量とその割合(CO₂ 回収分に相当)

直接利用工程での CO₂ 排出量は、スチームボイラーの合計が 817 kg-CO₂/day、排水処理施設の合計が 212 kg-CO₂/day、油水分離装置が 0.0700 kg-CO₂/day となった。スチームボイラーにおいて燃料に関係する CO₂ 排出量は、製造時が 12.4%、直接燃焼時が 47.3% であり、灯油においては、製造時が 2.54%、直接燃焼時が 8.69% であった。これら化石燃料である A 重油と灯油の CO₂ 排出量の占める割合は、70.9% であった。そのため、化石燃料の使用量を減らすことが工場全体から排出される CO₂ 排出量の削減に繋がることが示された。排水処理施設に関する CO₂ 排出量の割合は、電力が 16.8%、凝集剤等の薬品が 1.68% であった。水質分析結果から、油水分離装置の油分濃度減少率は 94.9% 以上であるため、油分による排水処理施設への負荷が減少するとともに、CO₂ 排出量が抑えられた。

間接利用工程での CO₂ 排出量は、焼却炉、排水処理施設、および油水分離装置の経済寿命の 15 年から、焼却炉 23.3 kg-CO₂/day、排水処理施設 74.3 kg-CO₂/day、油水分離装置 18.9 kg-CO₂/day となった。直接利用工程と同様に、油分濃度の増加した場合には、排水処理施設の規模は大きくなり、建設による CO₂ 排出量が増大すると考えられる。

N 社の食品加工場では、浮上油脂、回収油ともに焼却炉の A 重油代替燃料として利用されている。よって、資源再利用工程での CO₂ 排出量は、カーボンニュートラルにより実質ゼロとみなすことができる。そのため、CO₂ 排出原単位を重油相当として算出すると、CO₂ 排出量の削減は、浮上油脂では 1,210 kg-CO₂/day、回収油では 594 kg-CO₂/day となった。直接利用工程、間接利用工程での CO₂ 排出量を正、資源再利用工程での CO₂ 排出量を負として、油水分離装置導入後の一日当たりの工場全体の CO₂ 排出量を算出した結果、油水分離装置を導入しないケースに比べ、全体の CO₂ 排出量は、-659 kg-CO₂/day となった。資源再利用工程の CO₂ 排出量が、直接利用工程ならびに間接利用工程の CO₂ 排出量の和より大きければ、工場全体の CO₂ 排出量は負となる。したがって、この場合は食品加工場全体で CO₂ が削減され、油水分離装置の導入が促進されることが示された。

浮上油脂の資源再利用工程における CO₂ 排出量に占める割合は、67.1% であり、回収油の占める割合は 32.9% であった。このなかで、N 社の食品加工場での生産計画の変化によって浮上油脂、回収油の量が変わり、食品加工場全体の CO₂ 排出量が変わることが予想される。しかし、油水分離装置の価格が安価でかつ消費エネルギーが少ないことから、油水分離装置の製造時と稼働時の CO₂ 排出量が抑えられるため、油水分離装置導入の優位性は保たれると考えられる。

N 社の食品加工場の調査結果から、油分含有排水に対して効率的な油水分離を行うこ

とで、排水中の油分が 94.9%以上除去され、排水処理施設への負荷減少による排水処理施設稼働時の CO₂ 排出量抑制に効果的であった。また、建設費用は、排水処理施設の更新の際に約 1.0~2.2 億円と見積もられていたが、油水分離装置導入による油分濃度の低下により約 6,000 万円に抑えられた。そのため、建設時に排出される CO₂ 排出量が 40.0~72.7%減少し、建設時に排出される CO₂ 排出量の抑制に効果的であった。よって、高濃度油分含有排水に対する油水分離は、排水処理施設への負荷減少、規模縮小だけでなく、排水処理施設稼働時ならびに、建設時に排出される CO₂ 排出量の抑制に効果的であることが示された。また、資源再利用工程から排出される CO₂ 排出量は、直接利用工程ならびに間接利用工程から排出される CO₂ 排出量の 120%であり、資源再利用工程による CO₂ 削減効果が示された。よって、油水分離装置導入により得られる浮上油脂や回収油といった有価物を化石燃料の代替燃料としての使用することは、化石燃料の使用量を抑えるとともに、CO₂ 排出量の削減に効果があることが明らかとなった。

一方で、本研究で提案した油水分離プロセス導入による物質・エネルギーフロー、排水処理能力の解析、インベントリ分析による CO₂ 削減効果の推定手法は、排水処理施設の建設時と稼働時におけるエネルギー消費、化石燃料消費に伴う CO₂ 排出量、排水処理施設、ならびに油水分離装置の建設時に排出される CO₂ 排出量、および油水分離装置による回収油を再利用したときの CO₂ 削減効果を算出できる。よって、本研究で提案した環境影響評価の推定手法と対象施設内の詳細な物質・マテリアルフローは、本研究で対象とした食品加工場以外に対して応用可能であり、油水分離装置により得られる回収油のみならず、資源・エネルギー等のリサイクルによる環境影響評価を行うことができると考えられる。

油水分離装置を導入した排水処理システム全体の CO₂ 排出量の推定に効果的であると考えられる。

4. 結言

本研究では、油分含有排水への油水分離プロセス導入における、排水処理能力の向上と CO₂ 排出削減効果の推定のために、油分含有排水を取り扱う N 社の食品加工場の排水処理システムを対象として、油水分離装置導入後の排水の水質分析結果、食品加工場全体の物質・エネルギーフロー解析結果から考察を行った。

得られた結果は以下のとおりである。

- 1) 油水分離装置導入後の排水処理施設後の最終放流水の水質は、n-Hex 抽出物質, BOD, SS は規制基準値以下であり、全窒素が 19.5~24.7 mg/L, 全リンが 18.7~20.0 mg/L であった。したがって、排水処理工程の上流側に油水分離装置を導入し、排水処理工程の上流側で負荷の高い油分を予め除去することによって、排水処理施設が十分な性能を発揮できる。
- 2) 資源再利用工程における CO₂ 排出量の削減は、浮上油脂では 1,210 kg-CO₂/day, 回収油では 594 kg-CO₂/day となり、全体の CO₂ 排出量は、-659 kg-CO₂/day となった。このように、油水分離装置導入により得られる浮上油脂や回収油といった有価物を化石燃料の代替燃料として使用することは、CO₂ 排出量の削減に効果がある。
- 3) 調査対象施設の詳細な物質・マテリアルフローの把握とインベントリ分析により、施設内の資源・エネルギーのリサイクルによる CO₂ 削減効果を明らかにできる有効な評価手法を提案した。

第Ⅲ章 飲食店排水への油水分離装置導入による環境影響評価

1. 諸言

飲食店では、料理がサービスとして提供された後に食材廃棄物の回収が行われる。特に食器に残された食材廃棄物は、ラーメンのスープなどのように油分濃度が高い場合、そのまま排水として処理すれば、排水中の油分により、下水道管の閉塞や生物処理槽へ悪影響を及ぼす。また、十分に処理されないまま公共用水域に排出されると、有機物汚濁を引き起こし、水生生物への悪影響や悪臭の原因となる。そのため、油分の流出を防ぐためにG Tなどの油分除害設備を、厨房にできるだけ近い排水管の途中に設ける必要がある¹²⁾。

多くの自治体では、G Tを設置している飲食店に適切な維持管理を呼び掛けている⁵⁶⁾⁵⁷⁾。しかし、維持管理には月に1回程度の汚泥の汲み取りや、毎日の厨芥や油分の除去が必要なため、清掃に要するコストや人員が必要となり、これらの管理が不十分になりがちになり、期待される油分除去効果が得られない。

G Tの油分除去効果を上げるために、厨房内での油水分離技術や、微生物資材を利用したバイオ技術など、様々な環境技術が開発されている。環境技術導入による利点は、排水中の油分濃度低減のみならず、作業工程等の改善や、店舗周辺の環境負荷の低減といった効果が確認されている場合もある。しかしながら、これらの体系的かつ客観的な評価手法はまだ十分に整備されていないため、環境技術導入による環境影響評価手法の確立が必要と考えられる。

第Ⅱ章では、食品加工場における高濃度な油分含有排水に対して、油水分離装置による排水処理施設への負荷低減効果と、回収された油分を有価物として利用することによって、食品加工場全体における環境負荷の低減効果を示した⁵⁸⁾。

第Ⅲ章では、飲食店で油水分離装置が導入された場合における水環境を含む環境影響評価手法の確立を目的として、仙台市にあるラーメン店を対象事例とし、LCA にもとづく油水分離装置導入前後の物質・エネルギーフロー解析、提供される料理一食あたりのCO₂排出量の算出を行った、また、店舗外に排出される排水による環境への影響を評価するために直接的なWF_{gray}による解析を行った。

2. 調査対象と解析手法

2-1 調査対象施設

本研究では、宮城県仙台市にあるラーメン店（以下「S 店」）を調査対象とした。S 店では、自社工場で一括生産されたラーメンスープや麺などを調理し提供している。

S 店では、ラーメン残汁中の油分により店舗敷地内の下水道管の閉塞が年に数回起きていたため、2009 年 10 月に食器洗浄工程に油水分離装置を導入した。導入された油水分離装置は、油と水の比重の差により排水から分離された油分を油分回収用ベルトに付着させ回収する装置である。また、この装置は流入する油分含有排水を、加熱ヒーターを用いて加熱することによって、より油と水の分離を促進させている。

一般的にラーメン店では、油分が付着した食器洗浄やラーメン残汁を廃棄するため、厨房からの排水は、高濃度の油分含有排水となる。しかし、S 店のように食器洗浄プロセスにおいて油分回収を行い、環境負荷を低減する取り組みは、まだ一般的ではない。また、S 店は平成 21 年度環境技術実証事業²⁷⁾において、油水分離装置導入による水質改善効果を示しているが、油水分離装置導入による食器洗浄工程を含む一食あたりの CO₂ 排出量などの環境影響は評価されていない。

2-2 物質・エネルギーフロー

2015 年 10 月 20 日、S 店における物質・エネルギー量、販売食数ならびに使用食材量等の年間データの聞き取り調査を実施した。得られた年間データから、ひと月あたりの平均量を算出した。年間データに関しては、油水分離装置導入前は 2008 年のデータを用いた。また、油水分離装置導入後は 2014 年 7 月に食器洗浄機を節水型に更新しており、油水分離装置導入効果を検証するために 2012 年のデータを用いた。販売食数の変化により物質・エネルギーの変動が考えられるため、油水分離装置導入前後のひと月あたりの販売食数で物質・エネルギー量を除して、一食あたりの物質・エネルギー消費量とした。油水分離装置導入前の販売食数は、4,932 食/月であり、油水分離装置導入後は、9,777 食/月であった。なお、一食はラーメン、餃子、ライスのセットとした。一食における食材の構成割合を図 3-1 に示す。

聞き取り調査で不足した廃棄物中の水分量⁵⁹⁾、炊飯中に吸収される水分⁶⁰⁾、ならびに麺をゆでる際に生じる水蒸気量⁶¹⁾に関しては、文献値により推定した。物質・エネルギーフロー、および CO₂ 排出量を算出するインベントリ分析のシステム境界を S 店の調

理工程ならび食器洗淨工程とし，食材の生産，運搬，廃棄ならびに，使用機器の運搬，廃棄については除外した．また，物質・エネルギーフローにおける各プロセスの算出項目と算出方法を表 3-1 に示す．

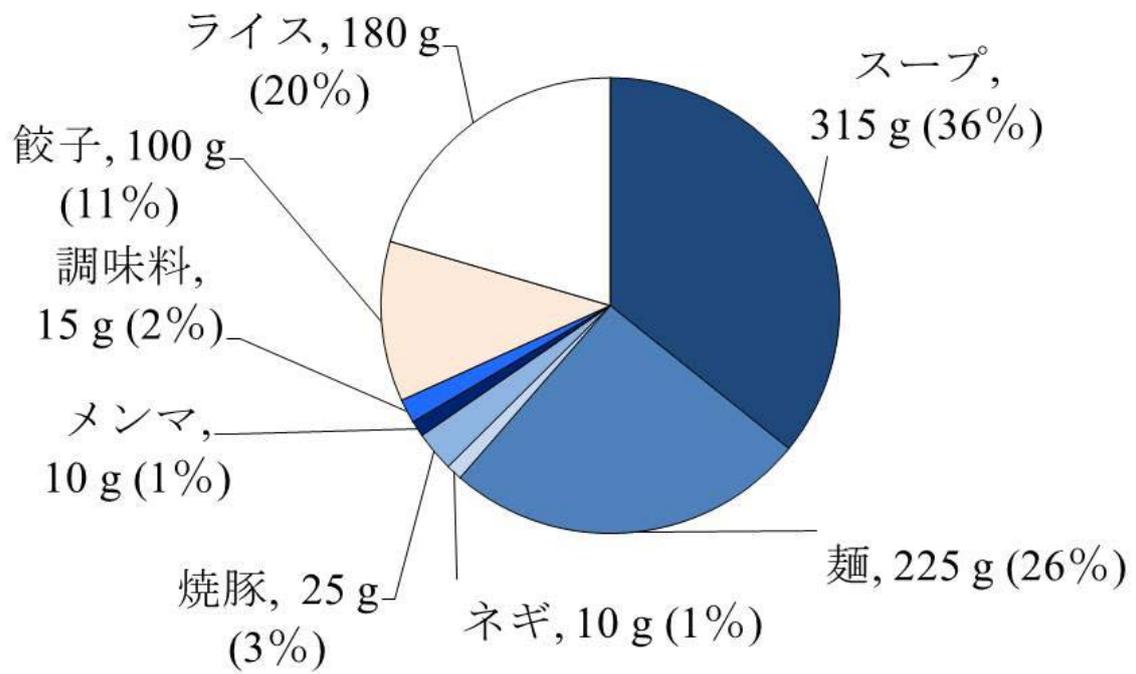


図3-1 一食の合計重量 880 g における食材の構成割合⁷²⁾

表3-1 各プロセスにおける算出項目と算出方法⁷²⁾

プロセス項目	算出項目	算出に用いた項目と数量	算出方法※
食器洗浄機	上水使用量	稼働時の使用水量 3.5 L/回	装置稼働時の上水使用量を平均洗浄食数で除した。
	電力使用量	稼働時の消費電力 1.3 kW	装置稼働時間1分より、稼働による消費電力量を算出し、平均洗浄食数で除した。
給湯器	電力使用量	稼働時の消費電力 0.042 kW	設置台数2台、営業時間、営業日数よりひと月あたりの消費電力量を算出し、販売食数で除した。
油水分離装置 導入前のシンク	排水量	シンク容量 W 1180 mm × D 460 mm ×H 300 mm	1日あたりのシンク溜め水交換回数、営業日数より、ひと月あたりの排水量を算出し、販売食数で除した。
油水分離装置 導入後のシンク	排水量	シンク容量 W 580 mm × D 460 mm ×H 300 mm	
油水分離装置	電力使用量	稼働時の消費電力 1.015 kW	ヒーターとモーターの消費電力と稼働時間、ならびに営業日数より、ひと月あたりの消費電力を算出し、販売食数で除した。
麺		—	現地調査より
餃子	調理過程で 食材に吸収 される水量	—	現地調査より
ライス		炊飯時の使用水量 4.2 L/回	販売食数、炊飯時の使用水量、吸収される水分 ⁶⁰⁾ より算出。

※ 平均洗浄食数；15食，営業時間；10h，営業日数；30日，油水分離装置導入前の1日あたりのシンク溜め水交換回数；6回，油水分離装置導入後の1日あたりのシンク溜め水交換回数；1回，ヒーターの消費電力と稼働時間；1.0kW，24h，モーターの消費電力と稼働時間；0.015kW，10h

2-3 CO₂排出量によるインベントリ分析

調理，食器洗浄における物質・エネルギーの消費に伴う CO₂ 排出のインベントリ分析を行った．インベントリ分析に用いた CO₂ 排出原単位を表 3-2 に示した．

表 3-2 において，電力は製造時の CO₂ 排出原単位を示した．都市ガスの消費による CO₂ 排出量算出において比重 2.07，単位発熱量 50.8 GJ/t を用いた⁶⁴⁾．G T の清掃にかかわるバキューム車による CO₂ 排出量を燃費 4.1 km/L，軽油の比重 0.83⁶⁵⁾ならびに，清掃業者から調査対象店舗ならびに汚泥処理施設間のバキューム車の走行距離 20 km を用いて算出した．また，食器洗浄機，給湯器は油水分離装置導入前後で変わっていないため，油水分離装置以外の使用機器の製造に係る CO₂ 排出量は除外した．

インベントリ分析において，一食あたりの CO₂ 排出量は，油水分離装置導入による食品加工場の環境影響を評価した際に示した算出式⁵⁸⁾を用いた．各施設への品目「*i*」の投入量を I_i ，データベースの CO₂ 排出原単位 D_i とすると各工程における一食あたりの CO₂ 排出量は F_i [kg-CO₂/食] を用いて，

$$F_i = I_i \times D_i \quad (3-1)$$

とした．

S 店は，年中無休であるため，油水分離装置が常時稼働していることから，常に製造による CO₂ 排出量に関わると考えられる．そのため，油水分離装置の品目別投入量 I_i は，購入価格を，油水分離装置の経済寿命 25 年を考慮した設置月数で按分してひと月当たりの消費量を算出し，油水分離装置導入後の平均ひと月あたりの販売食数で除して算出した．

表 3 - 2 CO₂ 排出原単位 ⁷²⁾

項目	CO ₂ 排出原単位	単位
洗剤 ⁶²⁾	1.157	t-CO ₂ /t
電力 ⁵¹⁾	0.560	kg-CO ₂ /kWh
灯油 ⁵³⁾	2.489	kg-CO ₂ /L
上水 ⁶³⁾	84	kg-CO ₂ /L
ガス ⁶⁴⁾	0.059	t-CO ₂ /GJ
業者による G T 清掃 ⁶⁵⁾	2.62	kg-CO ₂ /kg
油水分離装置 ⁶⁶⁾	46.3	kg-CO ₂ /万円

2-4 Gray water footprint による水環境への影響評価

WF_{gray} は、排出される環境負荷物質の負荷量を放流先における環境負荷物質の基準値から放流先の水質濃度を引いた値で除すことで、水量として算出される⁶⁷⁾。排出される環境負荷物質の負荷量を L [mg]、放流先における環境負荷物質の基準値を S [mg/L]、放流先の水質濃度 N [mg/L]を用いて

$$WF_{gray} = \frac{L}{S - N} \quad (3-2)$$

とした。

環境負荷物質を排水中の油分濃度を示す n-Hex 抽出物質 [mg/L]、有機物による汚濁の指標となる BOD [mg/L]とした。放流先における環境負荷物質の基準値は下水排除基準⁶⁸⁾、放流先の水質濃度は平成 25 年度阿武隈川下流流域下水道維持管理年報(仙台 1 号)⁶⁹⁾を用いた。下水排除基準ならびに仙台 1 号の水質濃度を表 3-3 に示す。

表 3 - 3 下水排除基準と仙台 1 号の水質濃度 ⁷²⁾

項目	下水排除基準 ⁶⁸⁾	仙台 1 号の水質濃度 ⁶⁹⁾
BOD [mg/L]	600	190
n-Hex 抽出物質 [mg/L]	30	15

システム境界外に排出される環境負荷物質の負荷量 L [mg] は、厨房排水水質を C [mg/L]、G T からの排水量を V [L]、油水分離装置による除去率を R [%]、G T による除去率 G [%] を用いて

$$L = C \times V \times \left(1 - \frac{R}{100}\right) \times \left(1 - \frac{G}{100}\right) \quad (3-3)$$

とした。

なお、油水分離装置導入前後の水質ならびに、油水分離装置による油分除去率ならびに BOD 除去率は、平成 21 年度環境省実証事業報告書より用いた。G T の油分除去率は SHASE 規格の 90%⁷⁰⁾ を、BOD 除去率は千葉県環境研究センター年報⁷¹⁾ より算出した。油水分離装置導入前後における各項目の水質濃度を表 3-4 に示し、油水分離装置と G T の除去率を表 3-5 に示す。

また、油水分離装置が導入された飲食店からの排水による環境影響を明らかにすることを目的としているため、一食あたりに消費される Blue water footprint, Green water footprint は計上しなかった。

表 3 - 4 油水分離装置導入前後における各項目の水質濃度⁷²⁾

項目	水質濃度 [mg/L]	
	油水分離装置導入前	油水分離装置導入後
BOD	3,500 [※]	3,910
n-Hex 抽出物質	4,000	330

※ 油水分離装置導入前の BOD 濃度は、平成 21 年度環境省実証事業報告書内の油水分離装置導入後における BOD 濃度から推定した。

表 3 - 5 油水分離装置と G T の除去率 ⁷²⁾

項目	除去率*[%]	
	油水分離装置	G T
BOD	46.1	20.6**
n-Hex 抽出物質	94.9	90

※ 油水分離装置の除去率は、実地試験の結果から算出した除去率であり、G T の除去率は、性能評価基準として示されている除去率である。

※※ G T による BOD 除去率は、小島らによる飲食店（ラーメン・中華）の排水等に関する調査結果 ⁷¹⁾ の流入水平均濃度 2,455 mg/L, 処理水平均濃度 1,948 mg/L から算出した。

3. 結果と考察

3-1 物質・エネルギーフロー

油水分離装置導入前後の物質・エネルギーフローを図3-2, 図3-3に示す。システム境界内に投入された物質・エネルギー量を左に, システム境界外から流出する物質・エネルギー量を右に示した。

油水分離装置導入前のラーメン残汁処理は, 専用容器に廃棄し, 廃棄物として処理されていた。食器はシンクで漬け置き洗いされていた。食器に付着していた油分は, 1日6回程のシンク内溜め水の交換時にシンク排水とともに下水道へ流出していた。油水分離装置導入後のラーメン残汁処理は, 油水分離装置に直接流入させていた。食器はシンクに漬け置き洗いする前に温水で予洗いをし, 予洗い時の排水も油水分離装置に流入させていた。シンク内の浮上油は, お湯を供給し, シンク内の溜め水を越流させることで, 油水分離装置に流入できる構造になっている。シンク内溜め水の交換回数は, 1日1回であった。油水分離装置導入により, 効率的な予洗いが可能となり, 食器洗浄機による複数回洗浄することが無くなった。そのため, 一食あたりの食器に使用される洗剤量が, シンクならびに食器洗浄機でそれぞれ74.8%削減されていた。以上の結果から, 油水分離装置導入は, 洗剤の使用量を削減する効果があると考えられる。

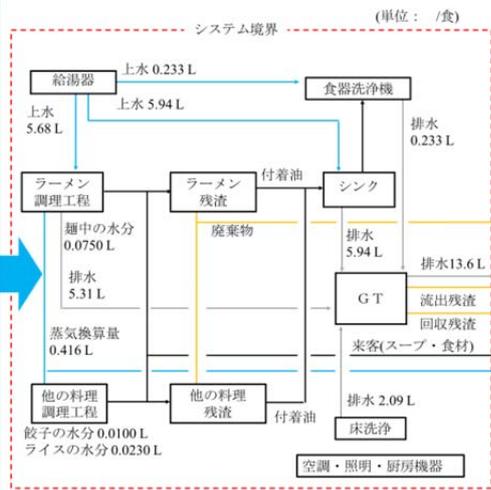
油水分離装置導入前後ともに, 食材投入量は0.880 kg/食であり, そのうち89.2%が来店者に摂取されていた。また, 油水分離装置導入後における来店者の摂取量と食材廃棄量の合計が0.872 kg/食であった。食材投入量より, 来店者の摂取量と食材廃棄量の合計が少ない理由は, 油水分離装置により回収された油分を計上していないためである。

油水分離装置導入後に, G Tからの流出残渣量が増加したのは, 油水分離装置導入前は残汁を廃棄物として廃棄していたのに対して, 油水分離装置導入後は, 残汁を油水分離装置に流入させ処理していたためであると考えられる。油水分離装置導入前後とも油分投入量は, 0.0564 kg/食であり, そのうち73.2%が来店者に摂取されていた。また, 来店者が摂取しきれない油分は, 0.0151 kg/食であり, 未摂取油分に対する油水分離装置の油分回収率は, 56.3%であった。油水分離装置導入前において, 未摂取油分の36.0%がG Tから流出しており, 油水分離装置導入後においては, 8.41%がG Tから流出していた。そのため, 油水分離装置導入により, G Tから流出する油分量は, 76.6%減少したことが明らかとなった。油水分離装置導入前後で, エネルギー使用量を比較した結果, 電力使用量が51.9%, ガス使用量が53.4%, 灯油使用量が41.7%減少した。これは, 販

売食数の増加により一食あたりにかかる電力、ガス、灯油の使用量が減少したためと考えられる。

油水分離装置導入前後ともに上水使用量の 90%以上が排水として店舗外に排出されていることが示された。また、上水使用量の 80%以上が調理・食器洗浄に使用されていた。油水分離装置導入前のシンクで使用される上水使用量は、給湯器に供給される上水使用量の 49.9%であったのに対して、油水分離装置導入後は、65.3%であり、シンクでの上水使用量の占める割合は増加した。これは、販売食数の増加に伴い、麺を茹でる際に使用する上水使用量など、ラーメン一食あたりの調理に使用する上水使用量が減少したことによるものと考えられる。よって、販売食数にかかわらず、店舗において節水する場合は、食器洗浄で使用する上水使用量を減らすことが効果的であると考えられる。

上水使用量	14.4 L
給湯器	
上水使用量	11.9 L
他の調理	
上水使用量	0.151 L
床清掃	
上水使用量	2.09 L
来店者	
上水飲料量	0.300 L
電力使用量	1.62 kWh
給湯器	0.00511 kWh
食器洗浄機	0.00144 kWh
空調・照明・厨房機器	1.62 kWh
ガス使用量	0.0363 kg
ラーメン調理	0.0114 kg
他の調理	0.0249 kg
灯油使用量	0.175 L
給湯器	0.175 L
洗剤使用量	0.00990 kg
食器洗浄機	0.00892 kg
シンク	0.000979 kg
食材投入量	0.880 kg
ラーメン調理	
食材	0.285 kg
スープ	0.315 kg
他の調理	
食材	0.280 kg
油分投入量	0.0564 kg
スープ含有量	0.0551 kg
他の調理使用量	0.00127 kg



使用水量	14.4 L
廃棄物	
水分量	0.00107 L
G T	
排水量	13.6 L
来店者	
上水飲料量	0.300 L
食材中の水分	0.108 L
蒸気	
蒸気換算量	0.416 L
電力使用量	1.62 kWh
給湯器	0.00511 kWh
食器洗浄機	0.00144 kWh
空調・照明・厨房機器	1.62 kWh
ガス使用量	0.0363 kg
ラーメン調理	0.0114 kg
他の調理	0.0249 kg
灯油使用量	0.175 L
給湯器	0.175 L
洗剤流出量	0.00990 kg
食器洗浄機	0.00892 kg
シンク	0.000979 kg
来店者の摂取量	0.880 kg
ならびに食材廃棄量	
廃棄物	
食材廃棄量	0.0802 kg
G T	
流出残渣量	0.00325 kg
回収残渣量	0.0118 kg
来店者	
スープ摂取量	0.233 kg
食材摂取量	0.552 kg
油分流出量	0.0564 kg
廃棄物	
油分廃棄量	0.00588 kg
G T	
流出油分量	0.00543 kg
回収残渣中の油分量	0.00374 kg
来店者	
油分摂取量	0.0413 kg

図 3-2 油水分離装置導入前の物質・エネルギーフロー⁷²⁾

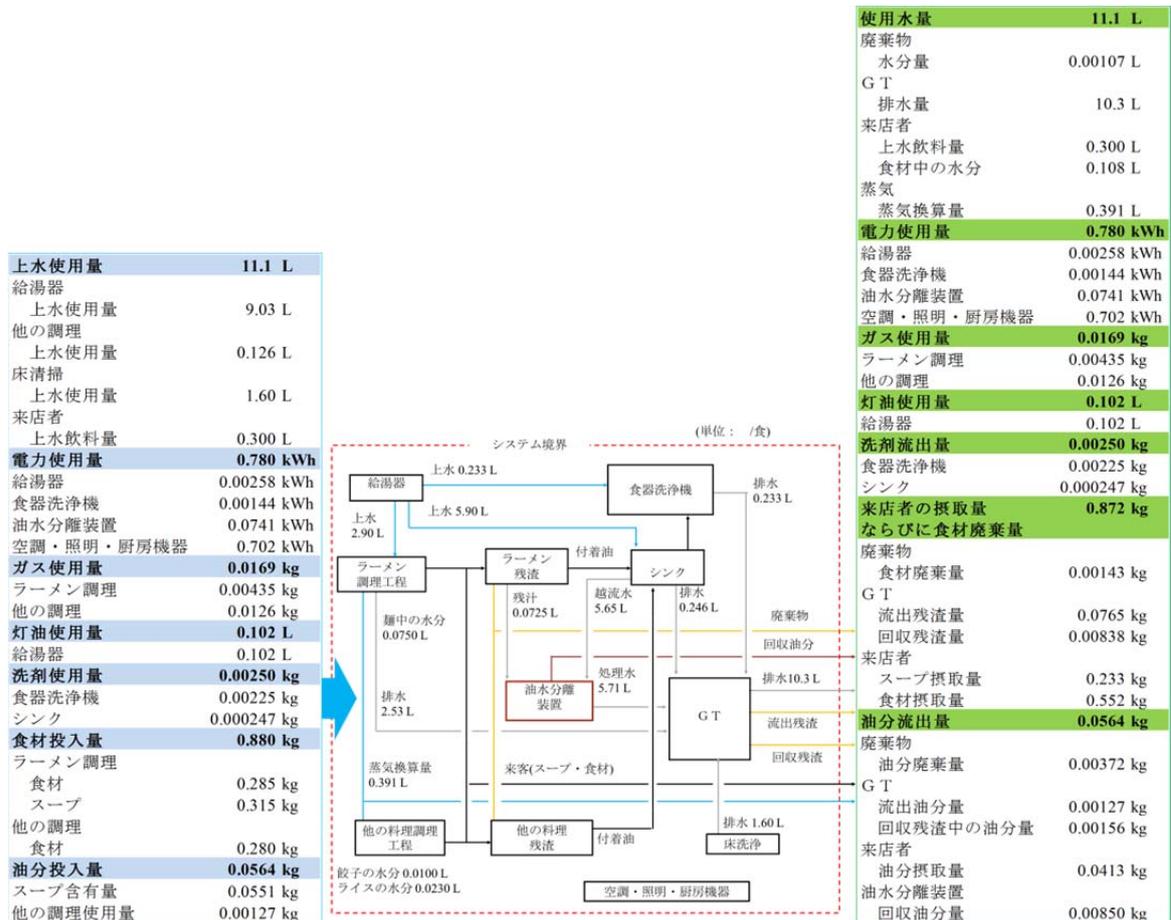


図3-3 油水分離装置導入後の物質・エネルギーフロー⁷²⁾

3-2 CO₂排出量によるインベントリ分析結果

調理・食器洗浄における物質・エネルギーの消費に伴う CO₂ 排出のインベントリ分析結果を図 3 - 4 に示す。

油水分離装置導入前の CO₂ 排出量の合計は 2.99 kg-CO₂/食であり、油水分離装置導入後の CO₂ 排出量の合計は 1.81 kg-CO₂/食であった。よって、調理・食器洗浄における物質・エネルギーの消費に伴う CO₂ 排出量は 39.5%削減されたことが示された。これは、販売食数の増加による一食あたりにかかるエネルギー使用量が減少した影響が強いと考えられる。

物質・エネルギーフロー解析の結果から、油水分離装置導入により、効率的な予洗いが可能となり食器洗浄機ならびにシンクにおける洗剤の使用量が減ったことや、排水中の油分濃度が低下したことにより G T 内に堆積する油分が減少し、清掃回数が少なくなった。CO₂ 排出量はエネルギー使用量に CO₂ 排出原単位を乗じて算出していることから、油水分離装置導入に伴う CO₂ 排出量、食器洗浄機ならびにシンクにおける洗剤の CO₂ 排出量と、業者による G T 清掃に伴う CO₂ 排出量の合計は、導入前 0.0372 kg-CO₂/食、導入後 0.00728 kg-CO₂/食であり、80.4%削減されたことが示された。以上より、油水分離装置導入は、一食あたりの CO₂ 排出量を削減する効果があると考えられる。

上水、電力、ガス、灯油といったエネルギー使用による CO₂ 排出量は、油水分離装置導入前後とも 98%以上であり、CO₂ 排出量の大部分を占めていた。また、電力、ガス、灯油の使用に伴う CO₂ 排出量に関しては、CO₂ 排出量ならびに排出割合ともに減少していた。しかし、上水使用量の CO₂ 排出割合は、油水分離装置導入前では 40.5%であったのに対し、油水分離装置導入後においては 51.3%であり、10.8%増加していた。これは、油水分離装置導入前後で、一食あたりの食器洗浄に必要な上水使用量には差がないため、一食あたりの電力、ガス、灯油の使用量よりも、一食あたりの上水使用量の削減量が少なく、上水使用量に伴う CO₂ 排出量が、電力、ガス、灯油の使用に伴う CO₂ 排出量に比べて僅かしか削減されなかったためと考えられる。以上のことから、今回の調査対象のような飲食店において CO₂ 排出量を削減するには、上水、電力、ガス、灯油といったエネルギー使用に伴う CO₂ 排出量の削減が効果的であることが示された。特に、食器洗浄工程に必要な上水使用量を削減し、上水使用量に伴う CO₂ 排出量を削減することができれば、より効果的であると考えられる。

CO₂排出量 [kg-CO₂/食]

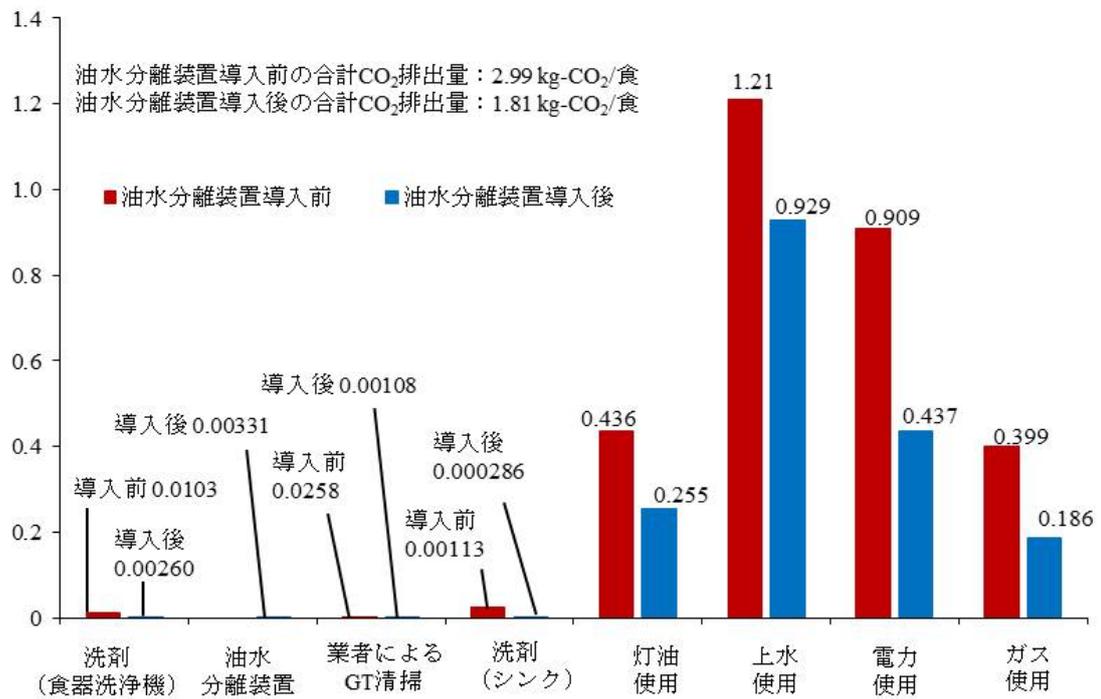


図3-4 油水分離装置導入前後のCO₂排出量⁷²⁾

3-3 Gray water footprint による水環境への影響評価結果

物質・エネルギーフローの結果より、販売食数の増加によって一食あたりの排水量は削減されたことが示された。しかし、ひと月あたりの店舗からの排水量は、販売食数に比例して増加する。そのため、排水中の環境負荷物質の濃度のみならず、排水量も考慮する必要があると考えられる。そこで、排水量を図 3-2, 3-3 で示された G T からの排水量にひと月あたりの販売食数を乗じて、油水分離装置導入前後におけるひと月あたりの WF_{gray} を算出し、考察した。 WF_{gray} 算出結果を図 3-5 に示す。

油水分離装置導入前の排水では、BOD の WF_{gray} は $454 \text{ m}^3/\text{月}$ であり、n-Hex 抽出物質の WF_{gray} は $1,790 \text{ m}^3/\text{月}$ であった。そのため、油水分離装置導入前の排水において BOD による水環境への影響よりも、n-Hex 抽出物質による水環境への影響の方が、およそ 4 倍あり、油水分離の必要性が示された。

また、油水分離装置導入前後の WF_{gray} 削減率を比較すると、BOD においては 9.25% であり、n-Hex 抽出物質では 88.8% であった。これは、調査対象施設に導入した油水分離装置は、n-Hex 抽出物質を除去するのに特化した装置であることが示された。

油水分離装置導入後の n-Hex 抽出物質による WF_{gray} と、下水排除基準である n-Hex 抽出物質濃度 30 mg/L の排水が、油水分離装置導入後の G T からの排水量で、店舗から排出したと仮定した場合の WF_{gray} を比較した。店舗外に排出される n-Hex 抽出物質による環境負荷量は、下水排除基準の n-Hex 抽出物質濃度に、油水分離装置導入後の G T からの排水量を乗じて算出した。その結果を図 3-6 に示す。

下水排除基準の n-Hex 抽出物質による WF_{gray} は $202 \text{ m}^3/\text{月}$ であり、油水分離装置導入後の n-Hex 抽出物質による WF_{gray} $200 \text{ m}^3/\text{月}$ と同程度であった。よって、下水排除基準の WF_{gray} と油水分離装置導入後の WF_{gray} の差から、油水分離装置導入後の n-Hex 抽出物質濃度において、ひと月あたり 680 L の排水量が増加した場合に、下水排除基準の WF_{gray} に達することが示された。さらに、図 3-3 の物質・エネルギーフローの結果から、油水分離装置導入後の一食あたりの排水量 10.3 L/食 から、ひと月あたりおよそ 66 食の販売数の増加が可能である。

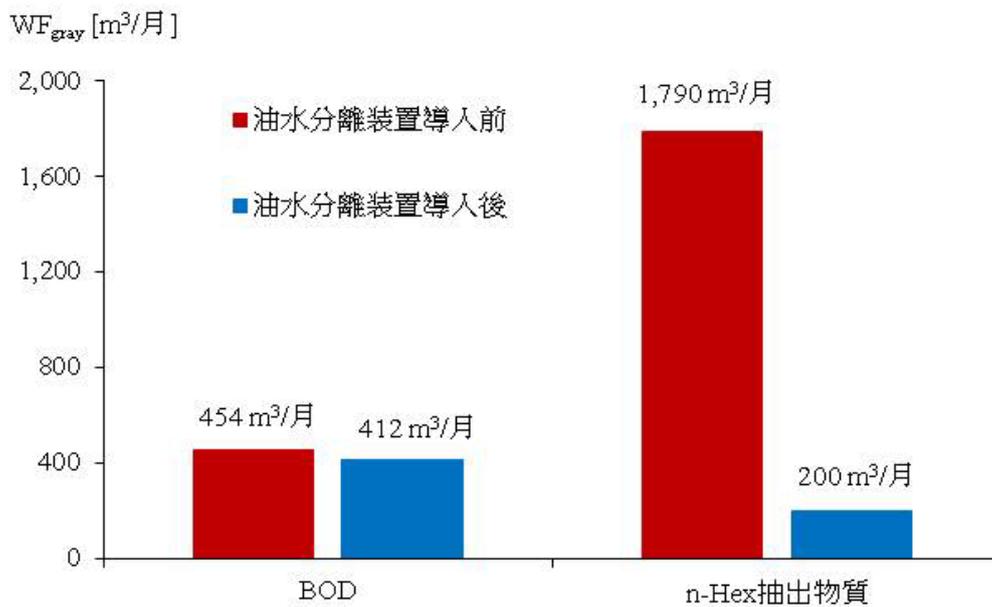


図 3 - 5 油水分離装置導入前後のひと月あたりの WF_{gray}⁷²⁾

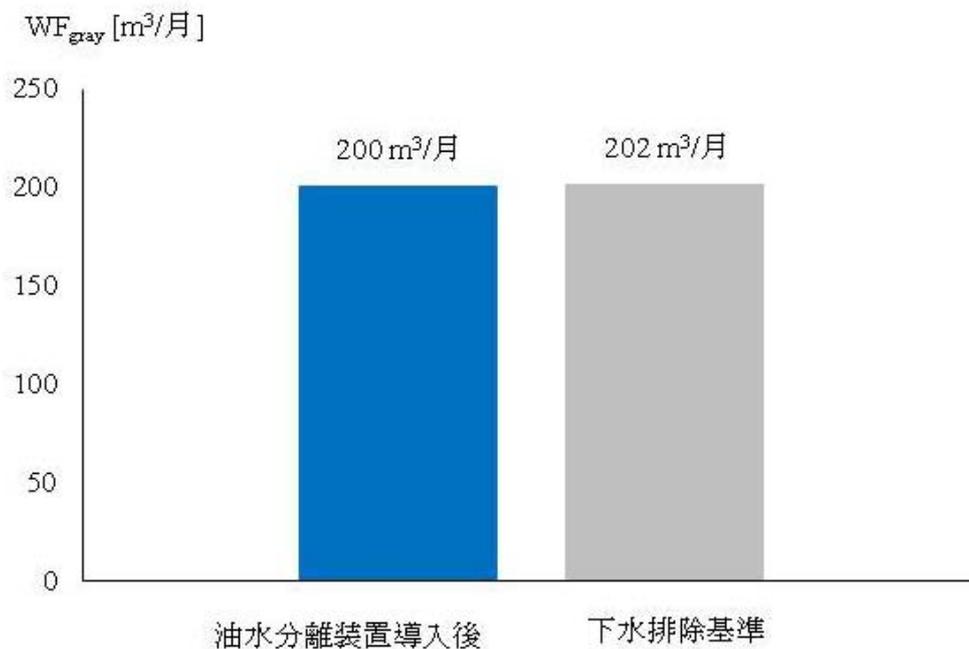


図 3 - 6 油水分離装置導入後と下水排除基準の n-Hex 抽出物質における WF_{gray} の比較⁷²⁾

油水分離装置の油分除去率が WF_{gray} に及ぼす影響を用いて、油水分離装置の導入効果を考察した。その結果を図 3-7 に示す。本研究の事例において、油分除去率 54.5% 以上の油水分離装置を導入することで、販売食数の増加に伴い、排水量が増加しても水環境への負荷低減に繋がること示された。また、平成 21 年度環境技術実証事業で示された油水分離装置の流入水と処理水から算出した油分除去率は、94.9% であるため、導入された油水分離装置は、本調査対象施設に適した装置とみなすことができる。

以上により、本研究で示した WF_{gray} を用いた環境影響評価手法は、環境負荷物質の濃度と排水量を考慮するため、調査対象とした飲食店や油水分離装置のみならず、一般的な飲食店において、油水分離装置を導入した場合の環境への影響評価に応用可能である。また、油水分離装置の性能評価結果から、導入予定の環境技術に対して、環境負荷を低減するのに必要な性能を導入以前に推定できると考えられる。

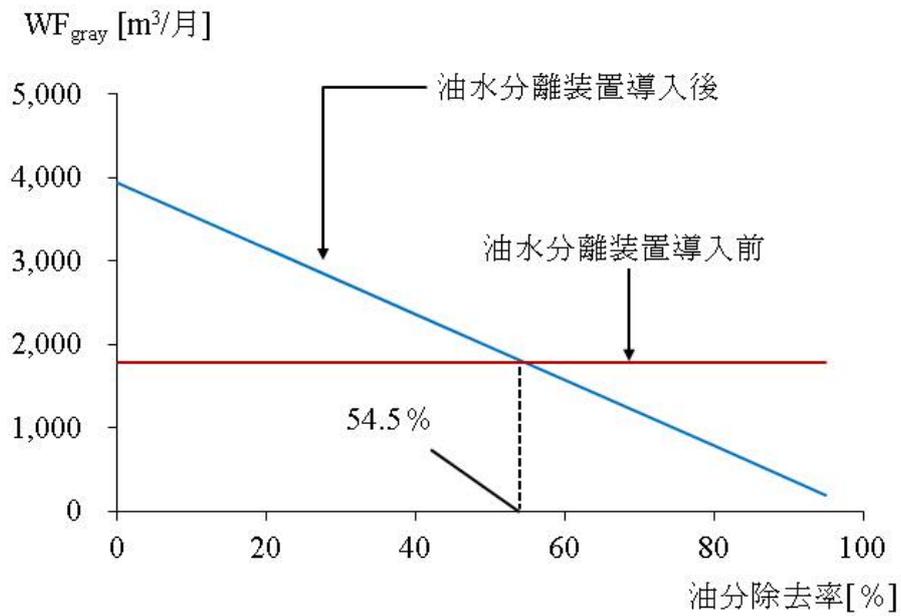


図 3-7 油分除去率が WF_{gray} に与える影響と導入前後の比較⁷²⁾

4. 結言

本研究では、飲食店で油水分離装置が導入された場合における環境影響評価手法の確立のために、仙台市のラーメン店の調理・食器洗浄工程を対象として、物質・エネルギーフロー、CO₂排出量によるインベントリ分析ならびに WF_{gray} による結果から考察を行った。

得られた結果は以下のとおりである。

- 1) 油水分離装置導入によって、一食あたりのシステム境界内へ投入された食材と油分以外の物質量が削減された。
- 2) 油水分離装置導入前後において、調理・食器洗浄における物質・エネルギーの消費に伴う CO₂ 排出量は 39.5%削減された。
- 3) WF_{gray} 解析により、油水分離装置導入によって、n-Hex 抽出物質による環境影響は、88.8%削減された。また、本研究の事例において、除去率 54.5%以上の油水分離装置を導入することで、販売食数の増加に伴い排水量が増加しても、水環境への負荷低減に繋がることが明らかとなった。
- 4) 物質・エネルギー使用量の把握に伴う CO₂ 排出量によるインベントリ分析と WF_{gray} 解析を用いることで、油水分離装置導入による飲食店のプロセスごとの CO₂ 排出量による環境影響評価と、水環境への負荷低減効果を示すことができた。以上より、これらの評価手法を組み合わせることで、油水分離装置導入における総合的な評価が可能であることが示された。

第IV章 総括と展望

1. 本研究の総括

本論文では、油水分離装置導入による排水処理施設への環境負荷低減効果の検証と環境影響評価手法の確立を論じた。

第I章では、油分含有排水を取り巻く環境と排水処理施設への影響を含む油分含有排水の現状を整理した。また、中規模から小規模の事業所において一般的に利用されているGTの現状や問題ならびに、油分を処理対象とする環境技術の事例を紹介した。製品や活動に伴う環境への影響を評価する既存の環境影響評価手法を示した。

環境技術導入は、得られた有価物を再利用したことによる環境負荷低減効果や作業工程の改善が期待される。一方で、環境技術を導入した場合の体系的かつ客観的な評価手法は十分に整備されていないため、環境技術導入による環境負荷低減効果を客観的に示す手法の確立が必要であると考えた。

第II章では、油分含有排水への油水分離プロセス導入における、排水処理能力の向上とCO₂排出削減効果の推定のために、油分含有排水を取り扱うN社の食品加工場の排水処理システムを対象として、油水分離装置導入後の排水の水質分析結果、食品加工場全体の物質・エネルギーフロー解析結果から考察を行った。

油水分離装置導入後の排水処理施設後の最終放流水の水質は、n-Hex抽出物質、BOD、SSは規制基準値以下であり、全窒素が19.5~24.7 mg/L、全リンが18.7~20.0 mg/Lであった。したがって、排水処理工程の上流側に油水分離装置を導入し、排水処理工程の上流側で負荷の高い油分を予め除去することによって、排水処理施設が十分な性能を発揮できることが示された。

油水分離装置導入により得られる有価物の再利用工程を資源再利用工程として、油水分離装置導入による食品加工場のCO₂排出量の削減効果を算出した結果、浮上油脂では1,210 kg-CO₂/day、回収油では594 kg-CO₂/dayとなり、全体のCO₂排出量は、-659 kg-CO₂/dayとなった。油水分離装置導入により得られる浮上油脂や回収油といった有価物を化石燃料の代替燃料として使用することは、CO₂排出量の削減に効果があることが示された。

以上より、油水分離装置導入による排水処理施設への負荷低減効果が示されたとともに、調査対象施設の詳細な物質・マテリアルフローの把握とインベントリ分析により、施設内の資源・エネルギーのリサイクルによるCO₂削減効果を明らかにできる有効な評

価手法を提案した。

第Ⅲ章では、飲食店で油水分離装置が導入された場合における環境影響評価手法の確立のために、仙台市のラーメン店の調理・食器洗浄工程を対象として、物質・エネルギーフロー、CO₂排出量によるインベントリ分析ならびに WF_{gray} による結果から考察を行った。

物質・エネルギーフローの結果から、油水分離装置導入による、一食あたりのシステム境界内へ投入された食材と油分以外の物質の削減効果が示された。また、油水分離装置導入前後において、調理・食器洗浄における物質・エネルギーの消費に伴う CO₂ 排出量は 39.5%削減されていた。

WF_{gray} 解析により、油水分離装置導入によって、n-Hex 抽出物質による環境影響は、88.8%削減された。また、本研究の事例において、除去率 54.5%以上の油水分離装置を導入することで、販売食数の増加に伴い排水量が増加しても、水環境への負荷低減に繋がることが明らかとなった。

本論文では、油水分離装置による排水処理施設の負荷低減効果と、油水分離装置導入により得られた回収油を有価物として再利用した際の CO₂ 排出量による環境影響評価手法を確立した。加えて、物質・エネルギー使用量の把握に伴う CO₂ 排出量によるインベントリ分析と WF_{gray} 解析を用いることで、油水分離装置導入によるプロセスごとの CO₂ 排出量による環境影響評価と、水環境への負荷低減効果を示した。以上より、本論文で示した評価手法を組み合わせることで、油水分離装置の普及に寄与する総合的な評価手法を確立した。

2. 今後の課題と展望

本論文では、油水分離装置を導入した食品加工場ならびに飲食店を対象に油水分離装置による排水処理施設の負荷低減効果と環境影響評価手法の確立を行った。

排水処理施設への油分の流入は、排水処理施設の負荷増大につながるため、排水中から油分を除外する必要がある。本論文では、高濃度の油分含有排水を排出する排水処理施設の上流側に油分除去率 94.9%以上の油水分離装置を導入した排水処理施設を調査した。その結果、安定した排水処理が行えていることが示されたため、本論文で調査対象としたような高効率の油水分離装置をG Tの前段や排水処理工程の上部に導入した場合、排水処理施設への負荷低減につながり、国内全体の水環境改善に寄与できると考えられる。しかし、一般的に使用されているG Tでは、油分濃度が低い場合や、油分が乳化した排水に対しては、阻集効率が低下することが示されており²⁰⁾、本論文で評価対象とした油水分離装置においても同様である。そのため、より安定的に排水処理を行うためには、低濃度の油分含有排水や油分が乳化した排水への対策や技術の開発が必要であると考えられる。

油水分離装置により得られた回収油を有価物として利用することで事業所からのCO₂排出量の削減に効果的であることが示されたため、排水処理工程への油水分離装置の導入は、排水中から回収された油分のバイオマスエネルギー利用の可能性や国内のCO₂排出量削減に期待できると考えられる。

現在、日本では、化石燃料の輸入段階で課税される石油石炭税に上乗せする形で、地球温暖化対策税(炭素税)が導入されているが、税率は燃料種に関わらず等しく 289 円/t-CO₂が課税されている⁷³⁾。本論文で調査対象とした食品加工場では油水分離装置により得られた回収油をA重油代替燃料として利用しており、導入しない場合に比べ1,810 kg-CO₂/dayのCO₂排出量を削減していた。そのため、炭素価格を289円/t-CO₂と仮定した場合、523円/dayの削減効果が示された。また、IMFは、日本における効果的な炭素価格として35 EUR/t-CO₂(約4,600円)を提示している。同様にOECDは、エネルギー税と炭素税、排出量取引制度の排出枠価格を合わせた実効炭素税率を提唱しており、全ての燃料に対して最低でも30 EUR/t-CO₂(約4,000円)の炭素価格の付与することを推奨している⁷³⁾。そのため、調査対象とした食品加工場では、7,240円/day～8,326円/dayの削減効果が見込まれ、油水分離装置導入によるメリットは大きいと考えられる。よって、今後カーボンプライシングの動きが高まるにつれて、食品加工場や飲食店といった小規

模事業場においても、油水分離装置導入意義は高まると考えられる。

油水分離装置により得られた回収油を有価物として再利用した際の CO₂ 排出量削減効果の推定手法の確立を目的として、スチームボイラー、排水処理施設、油水分離装置による資源エネルギー消費に伴う直接利用工程、焼却炉、油水分離装置、排水処理施設の建設の際に排出される間接利用工程、さらに、回収油、浮上油脂を焼却炉の熱源として利用する資源再利用工程に分けて、CO₂ 排出量を算出した。また、飲食店に油水分離装置が導入された場合の水環境への影響評価を目的として、WF_{gray} 解析を行った。本論文で提案した手法では、施設や設備の製造、運搬、廃棄工程を計上していないため、これら工程を踏まえたライフサイクル全体で評価することで、油水分離装置のライフサイクルを通じた環境影響評価を行うことができると考えられる。また、本論文で示した評価手法に加えて、エコロジカルフットプリントやカーボンフットプリントなどの既存の環境影響評価手法を組み合わせることで、多角的な視点を持った油水分離装置に対する環境影響評価を行うことができると考えられる。

油水分離装置導入前後の詳細な物質・エネルギーフローを把握することで油水分離装置導入効果を示すことができるが、油水分離装置導入前の詳細なインベントリデータを公開することに抵抗がある事業所や油水分離装置導入前のインベントリデータを保管していない事業所もあり、インベントリデータの把握が困難なケースがある。そのため、油水分離装置導入後のインベントリデータから油水分離装置導入効果を推定する手法の確立も必要であると考えられる。

現在、水質汚濁防止法による事業所における規制は日排水量 50 m³ 以上の事業所に限られている。また、濃度による規制のため、排水を希釈し、基準値以下まで排水濃度を低下させ排出するケースも考えられる。しかし、本論文で示した WF_{gray} 解析は、排水処理施設から公共用水域へ排出される汚濁負荷量を用いているため、濃度のみならず放流水量も影響する。また、環境が排出される環境汚濁物質を許容するのに必要な水量として算出される。そのため、放流水質による環境負荷が把握しやすく、排水規制に適していると考えられる。よって、公共用水域に排水する場合の WF_{gray} 解析を用いた排水規制手法の確立が必要であると考えられる。

第Ⅲ章において調査対象とした飲食店では、油水分離装置導入により、シンクでの洗剤使用量が減少して、従業員の手荒れが改善した事例や、G T内の浮上油分の減少により、従業員によるG Tの清掃に掛かる時間や清掃回数が減少しており、重労働であったG Tの清掃が油水分離装置導入により容易になり、退職する従業員が減ったとの回答が

寄せられた。よって、油水分離装置の導入は、労働環境改善にも効果的であると考えられる。また、油水分離装置導入により、シンクでの洗剤使用量の減少等に挙げられるように、物質・エネルギー使用量減少に伴う油水分離装置導入による経済的効果を踏まえた評価をすることで、環境・経済・労働の側面から油水分離装置を評価することができ、油水分離装置の更なる普及に寄与することが期待される。

本論文で調査対象とした油水分離装置は1種類のみであった。しかし、物理処理、生物処理、化学処理といった様々な処理方式を採用した油水分離装置が存在している。そのため、これら油水分離装置に対して本論文で示した評価手法を用いることで、処理方式に関係なく油水分離装置の環境影響を評価することができ、導入先にあった油水分離装置を選定することができると考えられる。よって、評価手法の充実は導入する事業所にとって利益が明確に把握できるだけでなく、油水分離装置の技術発展が期待される。

謝辞

本論文を執筆するにあたり，多大なるご指導ご鞭撻を賜りました筑波大学生命環境系 野口良造准教授に深謝致します。野口先生には，長い期間にわたり，研究の進め方や論文の書き方など，ご指導を賜りました。最後まで誠にありがとうございました。

副査としてご指導・ご助言を賜りました筑波大学生命環境系 瀧川具弘教授，北村豊教授，Tofael Ahamed 准教授に深謝致します。

本論文において，快く調査協力して頂きました株式会社直江津油脂 佐藤隆義氏，株式会社こむらさき 千田洋子氏ならびに，株式会社大都技研 佐藤秀雄氏に深く感謝申し上げます。

論文に関して，数多くのご助言を賜りました油水分離研究会のメンバーである特定非営利活動法人環境生態工学研究所理事長 須藤隆一博士，東洋大学理工学部都市環境デザイン学科 山崎宏史准教授，株式会社サイゼリヤプロジェクト推進部 藤田宗彦課長に深謝の意を表します。

本論文の推進に協力して頂いた一般社団法人埼玉県環境検査研究協会 野口裕司氏，浅川進氏，山岸知彦氏，鈴木章氏そして，役職員の皆様に感謝申し上げます。

最後に，大学院進学に対して理解を示し，学業を支えて頂きました家族に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 田所正晴；油脂類による機能障害とその対策，月刊浄化槽，290 (6) p.34-39, (2000).
- 2) 環境省；一律排水基準，< <http://www.env.go.jp/water/impure/haisui.html> >, 2016年1月14日参照.
- 3) 環境省 水・大気環境局 水環境課；平成26年度水質汚濁防止法等の施行状況，< http://www.env.go.jp/water/impure/law_chosa/h26-shiko.pdf >, 2016年11月14日参照.
- 4) 川崎市；油と公共下水道，< <http://www.city.kawasaki.jp/800/cmsfiles/contents/0000035/35839/book/> >, 2016年12月5日参照.
- 5) 仙台市建設局排水設備係；飲食店の皆様へ，< http://www.city.sendai.jp/sumiyoi/lifeline/gesui/_icsFiles/afieldfile/2010/09/01/insyokuten.pdf >, 2016年12月7日参照.
- 6) さいたま市；油を下水道へ流さないで！ グリーン阻集器の設置と適正な管理をしましょう，< <http://www.city.saitama.jp/001/006/003/001/003/p005397.html> >, 2016年12月6日参照.
- 7) 野口裕司・西村修・浅川進・山岸知彦・大塚俊彦・鈴木章；小規模事業場の油分含有排水対策の現状と課題，用水と廃水，54 (11), p.849-859, (2012).
- 8) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部；平成26年度事業産業廃棄物排出・処理状況調査報告書 平成24年度実績(概要版)，< http://www.env.go.jp/recycle/sangyo_h24a.pdf >, 2016年12月10日参照.
- 9) 全国油脂事業協同組合連合会；UCオイルのリサイクルの流れ図，< www.zenyuren.or.jp/UCoil200703S2.pdf >, 2016年12月10日参照.
- 10) 野口良造・関根千里；排水中の動植物性油脂回収による費用・CO₂削減効果，農業情報研究，19 (4), p.86-94, (2010).
- 11) 財団法人日本環境整備教育センター；浄化槽検査員講習会テキスト(汚水処理)(構造基準)(保守点検，清掃)，p.318, (2009).
- 12) 伊与亨・仮谷登；油分対策の現状，環境技術，26(3), p.160-168, (1997).
- 13) 田所正晴；油脂類による機能障害とその対策，月刊浄化槽，290 (6) p.34-39, (2012).
- 14) 田所正晴，桜井敏郎；小型合併処理浄化槽の処理機能に及ぼす油分の影響，用水と廃水，36(9), p.10-17, (1994).
- 15) 北中敦・間谷聖子・伊藤世人；油分含有廃水のMBR(膜分離活性汚泥法)の運転性に与える影響，水環境学会誌，35(12), p.205-210, (2012).

- 16) 埼玉県；河川等における異常水質事故の発生状況， < <https://www.pref.saitama.lg.jp/a0505/jikojoyoukyou.html> >， 2016 年 12 月 10 日参照。
- 17) 国土交通省；合流式下水道改善対策検討会議 資料 3-3， < http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/info/cso/cso010619/shiryos3_3.pdf >， 2016 年 12 月 10 日参照。
- 18) 東京都下水道局；油・断・快適！下水道， < <http://www.gesui.metro.tokyo.jp/onega/onega.htm> >， 2016 年 12 月 15 日参照。
- 19) 日本阻集器工業会；日本阻集器工業会グリーン阻集器認定制度， < http://www.nihon-soshuki.jp/ninnte/ninte_frame.htm >， 2016 年 12 月 15 日参照。
- 20) 公益社団法人空気調和・衛生工学会；空気調和・衛生工学会規格 SHASE-S 217-2016 グリーン阻集器， (2016)。
- 21) 登美鈴恵，池本良子，中木原江利，江川史将；飲食店廃水の特性およびグリーストラップの機能と管理に関する調査，土木学会論文集 G(環境)，67(7)，p.III_633-641，(2011)。
- 22) 鹿児島市環境保全課浄化設備係；グリーストラップの維持管理についてのご願い～浄化槽に前置するグリーストラップ～， < <http://www.city.kagoshima.lg.jp/kankyo/kankyo/hozen/kurashi/sekatsukankyo/joka/documents/2010323145218.pdf> >， 2016 年 12 月 20 日参照。
- 23) 大津市企業局下水道計画管理課業務管理係；飲食店のみなさまへ， < <http://www.city.otsu.lg.jp/ikkrwebBrowse/material/files/group/241/4bcd0ff1006.pdf> >， 2016 年 12 月 20 日参照。
- 24) 登美鈴恵；飲食店排水の特性と環境への影響，博士論文，金沢大学大学院，(2012)。
- 25) 仙台市；下水道に油を流さないで！， < <http://www.city.sendai.jp/suishitsukanricenter/kurashi/machi/lifeline/gesuido/gesuido/shimin/gesuido.html> >， 2016 年 12 月 20 日参照。
- 26) 環境省；平成 25 年度 環境技術実証事業 有機性排水処理技術分野 実証試験報告書， < <https://www.env.go.jp/policy/etv/pdf/list/h25/020-1301b.pdf> >， 2016 年 12 月 20 日参照。
- 27) 環境省；平成 21 年度 環境技術実証事業 小規模事業場向け有機性排水処理技術分野 実証試験報告書， < <https://www.env.go.jp/policy/etv/pdf/list/h21/020-0901b.pdf> >， 2016 年 12 月 20 日参照。
- 28) 環境省；平成 27 年度 環境技術実証事業 有機性排水処理技術分野 実証試験報告書， < <http://www.env.go.jp/policy/etv/pdf/list/h27/020-1501b.pdf> >， 2016 年 12 月 20 日参照。

照.

- 29) 龍田典子, 横堀加奈里, 井上綾, 案浦謙二, 手嶋功, 上野大介, 井上興一, 染谷孝 ; 油脂分解菌を用いた厨房排水の浄化に関する研究, 環境技術, 38(11), p.801-809, (2009).
- 30) 仙台市建設局下水道経営部業務課 ; 仙台市下水道水質管理指導指針, < <https://www.city.sendai.jp/suishitsukanricenter/download/bunyabetsu/gesuido/tokuteshisetsu/documents/h28shishin.pdf> >, 2016年12月20日参照.
- 31) 独立行政法人国民生活センター ; いわゆる排水口に流すタイプの食用油処理剤等～排水した際の環境性を中心に～, < http://www.kokusen.go.jp/pdf/n-20040421_1.pdf >, 2016年12月21日参照.
- 32) 田中勝, 松藤敏彦, 角田芳忠, 石坂薫 ; 循環型社会評価手法の基礎知識, 技報堂出版, p.31, 103-104, (2007).
- 33) 伊坪徳宏, 田原聖隆, 成田暢彦 ; LCA 概論, 社団法人産業環境管理協会, p.3-9, (2007).
- 34) 大政謙次, 竹内俊郎, 木部勢至朗, 北宅善昭, 船田良 ; 閉鎖生態系・生態工学ハンドブック, 生態工学会出版企画委員会編集, p.234, (2015).
- 35) 日産自動車株式会社 ; 環境への取組み, < <http://www.nissan-global.com/JP/ENVIRONMENT/CAR/LCA/> >, 2016年12月21日参照.
- 36) 京セラドキュメントソリューションズ株式会社 ; 製品の環境負荷を評価, < <http://www.kyoceradocumentsolutions.co.jp/ecology/product/lca.html> >, 2016年12月21日参照.
- 37) 一般社団法人産業環境管理協会 ; エコリーフとは, < <http://www.ecoleaf-jemai.jp/about/> >, 2016年12月21日参照.
- 38) 公益財団法人世界自然保護基金ジャパン ; Japan Ecological Footprint Report 2012, < http://www.wwf.or.jp/activities/lib/lpr/WWF_EFJ_2012j.pdf >, 2016年12月22日参照.
- 39) 国際環境経済研究所 ; 地球温暖化の基礎知識, < <http://ieei.or.jp/2016/09/special201608009/> >, 2016年12月22日参照.
- 40) 神崎昌之, 壁谷武久, 石塚明克, 加地靖, 岸田裕一, 内田裕之 ; カーボンフットプリント制度試行事業について, 第7回 LCA 学会研究発表会講演要旨集, p.266-267, (2012).

- 41) 本下晶晴, 稲葉敦; カーボンフットプリント表示に対する消費者の意識調査, 第4回 LCA 学会研究発表会講演要旨集, p.312-313, (2009).
- 42) 伊坪徳宏; ISO14046(ウォーターフットプリント)の動向, 環境管理, 46 (6), p.452-458, (2010).
- 43) 安田将広; ウォーターフットプリント導入に向けた最近の動向について, 水環境学会誌, 37 (A), 8, p.262-265, (2014).
- 44) 環境省; ウォーターフットプリント算出事例集, p.1, 20, 46, 64-65, (2014).
- 45) Sustainable Development Goals 17; Goal 6 Ensure access to water and sanitation for all, < <http://www.un.org/sustainabledevelopment/water-and-sanitation/> >, 2016年1月23日参照.
- 46) 浅川進・野口裕司・山岸知彦・須藤隆一; 前置型の処理装置の設置による負荷の低減と小規模浄化槽における処理の可能性, 日本水処理生物学会誌別巻, (30), p.74, (2010).
- 47) 環境省; 水質汚濁に係る環境基準について, < <https://www.env.go.jp/kijun/mizu.html> >, 2016年1月4日参照.
- 48) 日本規格協会編; JIS ハンドブック環境測定Ⅱ水質, 日本規格協会出版, p.673-698, 729-730, 777-779, 786-788, 683-684, 702-704, (2007).
- 49) 日本銀行; 各物価指数の動き(概要), < <https://www.boj.or.jp/statistics/pub/pim/data/pim01.pdf> >, 2016年1月4日参照.
- 50) Academy Corner; < <http://www.as-1.co.jp/academy/5/5.html> >, 2016年1月4日参照.
- 51) 東北電力; 2012年度のCO₂排出実績ならびにCO₂排出削減自主目標(2008~2012年度)に関する実績について, < http://www.tohoku-epco.co.jp/news/normal/1184366_1049.html >, 2016年1月4日参照.
- 52) LCA 実務入門編集委員会(JEMAI); LCA 実務入門, (社)産業環境管理協会, (1999).
- 53) 環境省; 燃料別の二酸化炭素排出量の例, < <https://www.env.go.jp/council/16pol-e-ar/y164-04/mat04.pdf> >, 2016年1月4日参照.
- 54) 野口良造; 食品加工場の排水処理システムへの油水分離技術導入とその経済評価, 用水と廃水, 55 (10), p.757-762, (2013).
- 55) 月井慎一・中森秀紀・平野勝巳; 動物油脂からのバイオディーゼル燃料製造, 日本エネルギー学会誌, 87, p.291-296, (2008).
- 56) 群馬県県土整備部下水環境課; 【下水道・汚水処理】下水道に油を流さないでくだ

- さい, < <http://www.pref.gunma.jp/06/h6610005.html> >, 2016年1月5日参照.
- 57) 飯能市上下水道部下水道課; 飲食店や油を多く使用する事業者の皆さんへ, < <http://www.city.hanno.saitama.jp/0000001337.html> >, 2016年1月5日参照.
- 58) 大塚俊彦, 安久絵里子, 野口良造; 油水分離プロセス導入による排水処理能力向上とCO₂排出削減, 農業情報研究, 25, (1), p.29-38, (2016).
- 59) 矢野順也, 平井康宏, 酒井伸一, 出口晋吾, 中村一夫, 堀寛明; 都市ごみ中の厨芥類および紙類の利用システムによる温室効果ガスの削減効果, 廃棄物資源循環学会論文誌, 22, (1), p.38-51, (2011).
- 60) 檜作進; 炊飯とでんぷんの老化, 調理科学, 3, (4), p.225-229, (1970).
- 61) 十河桜子, 宮藤章, 近藤靖史, 倉渕隆, 河原ゆう子, 高橋明子; 住宅の換気計画・防湿計画の基礎資料としての調理時の水蒸気発生量, 空気調和・衛生工学会論文集, 138, p.49-57, (2008).
- 62) 味の素; 食品関連材料CO₂排出係数データベース, < <https://www.ajinomoto.co.jp/actvity/kankyo/pdf/2010/lcco2.pdf> >, 2016年1月5日参照.
- 63) 仙台市水道局総務部総務課; 平成24年度版環境報告書, p.19, (2012).
- 64) 日本LPガス協会; CO₂排出係数について, < <http://www.j-lpgas.gr.jp/nenten/co2.html> >, 2016年1月5日参照.
- 65) 財団法人日本環境整備教育センター; 平成13年度浄化槽のライフサイクルアセスメントに関する調査報告書, (2002).
- 66) 環境省; サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位データベース(Ver2.1), p.11, (2014).
- 67) Cheng Liu, Carolien Kroeze, Arjen Y. Hoekstra, Winnie Gerbens-Leenes; Past and future trends in grey water footprints of anthropogenic nitrogen and phosphorus in puts to major world rivers, Ecological Indicators, 18, p.42-49, (2012).
- 68) 宮城県東部下水道事務所; 下水排除基準, < <http://www.pref.miyagi.jp/soshiki/ktkm-wt/haijokijun.html> >, 2016年1月5日参照.
- 69) 宮城県中南部下水道事務所; 平成25年度阿武隈川下流流域下水道維持管理年報, p.54, (2014).
- 70) 高地進, 小南和也; オイル阻集器SHASE-S 221の紹介, GBRC, 38, (1), p.31-38, (2013).
- 71) 小島博義, 藤村葉子; 飲食店(ラーメン・中華)の排水等に関する調査結果, 千葉県

環境研究センター年報, (9), p.121-122, (2011).

72) 大塚俊彦, 安久絵里子, 野口良造; 飲食店排水への油水分離装置導入による環境影響評価, 環境技術, 45, (12), p.640-649, (2016).

73) 内藤彩, 元木悠子; 世界の先進的事例から考える, 日本におけるカーボンプライシングのあり方, みずほ情報総研レポート, 13, p.1-15, (2017).

摘要

油分含有排水が、排水処理施設に流入すると排水処理施設の処理能力低下や設備の誤作動、閉塞等が引き起こされる。そのため、排水処理において、油分を流入させないことが重要となる。油分の除害施設として、GTが一般的に使用されているが、流入変動や滞留時間から十分な処理効果を得られない場合がある。そのため、油分を処理対象とした環境技術が普及しているが、環境技術を導入した場合の体系的かつ客観的な評価手法は十分に整備されていないため、環境技術導入による環境負荷低減効果を客観的に示す手法の確立が必要である。そこで、本論文では、油水分離装置導入による排水処理施設への負荷低減効果の検証と、油水分離装置導入による総合的な環境影響評価手法の確立を目的とした。

はじめに、高濃度な油分含有排水を取り扱う食品加工場((株)直江津油脂)の排水処理施設を対象に、油水分離装置導入後の排水の水質分析、食品加工場全体の物質・エネルギーフロー解析を行った。排水処理施設からの最終放流水の水質は、n-Hex 抽出物質、BOD、SSは規制基準値以下であり、全窒素が19.5~24.7 mg/L、全リンが18.7~20.0 mg/Lであった。資源再利用工程におけるCO₂排出量の削減は、浮上油脂では1,210 kg-CO₂/day、回収油では594 kg-CO₂/day、全体のCO₂排出量は-659 kg-CO₂/dayとなり、CO₂排出量が負の値となった。排水処理工程の上流側で、排水中の油分を除去することにより、排水処理施設が十分な性能を発揮できるとともに、浮上油脂や回収油の利用は、CO₂排出量の削減に大きな効果があることが示された。

つぎに、飲食店排水((株)こむらさき天下一品フランチャイズ仙台バイパス店)への油水分離装置導入前後の物質・エネルギーフロー解析とWF_{gray}解析を行った。その結果、油水分離装置導入によって、一食あたりにシステム境界内へ投入された食材と油分以外の物質量が削減された。また、販売食数に係らず、店舗において節水する場合は、食器洗浄で使用する上水使用量を減らすことが効果的であることが明らかとなった。さらに、油水分離装置導入前後において、調理・食器洗浄における物質・エネルギーの消費に伴うCO₂排出量は39.5%削減された。WF_{gray}解析により、油水分離装置導入によって、n-Hex抽出物質による環境影響は88.8%削減されるとともに、除去率54.5%以上の油水分離装置を導入することで、販売食数の増加に伴い、排水量が増加しても水環境の負荷低減が可能なことが明らかとなった。

以上より、本論文では、油水分離装置による排水処理施設の負荷低減効果と、油水分離装置導入により得られた回収油を有価物として再利用した際のCO₂排出量による環

境影響評価手法を確立した。加えて、物質・エネルギー使用量の把握に伴う CO₂ 排出量によるインベントリ分析と WF_{gray} 解析を用いることで、油水分離装置導入によるプロセスごとの CO₂ 排出量による環境影響評価と、水環境への負荷低減効果を示した。その結果、油水分離装置を導入した際の回収油の再利用による環境影響から排水による水環境への影響を含む総合的な環境影響評価手法を確立した。

Abstract

Clogging of public sewer pipes and/or purification performance damage of wastewater treatment facility are occurred by abundant oil contaminated wastewater flowing into the waste pipe and the facility. To prevent these problems, the grease-trap, which can separate oil and wastewater by difference of their specific gravity, should be installed to inside or outside of restaurant or food processing factory based on the wastewater management regulations. However, oil catching and separating performance of the grease-trap is not enough in case of the abundant flow of oil contaminated wastewater and its short retention time for separation. So, environmental technology for reducing oil contaminated wastewater, keeping and/or improving the performance of the grease-trap, and reducing environmental load is currently developed and spreading of diffusion. This research aims to propose the systematic and evaluation methods to clarify the performance of the oil-water separation equipment as new technology installed to existing facility and restaurant, and establish comprehensive environmental impact assessment.

Firstly, material and energy flow, and n-Hex, BOD, and SS of final effluent from the food processing factory (Naoetsu-Yushi Co.Ltd) were analyzed about before and after installing oil-water separation equipment to the wastewater treatment facility. After installing, n-Hex, BOD, and SS as waste quality were better than the standard values of wastewater management. 19.5-24.7 mg/L of total nitrogen and 18.7-20.0 mg/L of total phosphorus were measured. -659 kg-CO₂/day of total CO₂ emission of the factory was indicated by CO₂ emission of resource recycling process (equivalent to CO₂ recovery) and CO₂ emission of direct/indirect use process (equivalent to CO₂ emission). It was confirmed that installation of oil separating process contributes improvement of wastewater treatment system and reduction of CO₂ emission by utilization of the floated oil in the wastewater.

Secondly, material and energy flow of the ramen restaurant (Komurasaki Co.Ltd) was analyzed about before and after installing oil-water separation equipment to the kitchen space. The results showed that detergent, water, gas and electricity in the material and energy flow per one meal were reduced. Especially, water consumption in the dishwashing machine was saved effectively in spite of increasing the number of meals in the restaurant. And 39.5% of CO₂ emission was reduced, and 88.8% of n-Hex index for environmental impact was reduced from the viewpoint of the gray water footprint.

Therefore, the performance improvement of oil-water separation equipment to the wastewater treatment facility was clarified. In addition, the comprehensive environmental impact assessment was established using the gray water footprint for wastewater to water environment and the inventory analysis with CO₂ emission, oil reuse.