

第20回
海外環境事情調査団報告書

令和4年度
(2022年度)
(オスロ、コペンハーゲン、アムステルダム)

令和5年3月

一般社団法人 日本環境衛生施設工業会

第20回海外環境事情調査団 行程図



ROAF社 混合ごみ選別施設(生ごみ、金属、プラスチックの選別)

【訪問先】 ROAF 社 (Romerike Avfallsforedling IKE : ロメリケ廃棄物処理会社)

【所在地】 Bølerveien 93, 2020 Skedsmokorset, Romerike

【訪問日】 2023年2月20日 9:00~12:00

【対応者】 Sales manager/Terje Skovly

Communications Adviser/Marianne Johnsen



図1. 地図【ノルウェー全体】

1. はじめに

ノルウェーの正式名称はノルウェー王国で、面積は38.6万平方キロメートルで日本とほぼ同じ大きさである。主要産業は石油・天然ガスの生産であるが、国内の電力は豊富な水資源を利用して、約9割を水力発電でまかなっている。また、1人あたりの名目GDPも高く、医療費と教育費は原則無料の豊かな福祉国家でもある。

ノルウェーは環境先進国でもある。使い捨てプラスチック製品の使用禁止法案、ペットボトルのデポジット制度、プラスチック容器包装の回収および処理のEPR制度などに取り組んでいる。その中でもプラスチックの回収率は高く、ペットボトルは、デポジット制度の導入により日本を上回るリサイクル率となっている。

今回、このような環境に対して先進的に取り組んでいるノルウェーの首都オスロの東方アーケシュフース県にあるROAF社(ロメリケ廃棄物処理会社)の混合ごみ選別施設を視察、またバイオガスプラントの説明を受けた。

2. Romerike Avfallsforedling IKS(ROAF社)について

ROAF社はオスロ東方アーケシュフース県北部ロメリケ地方7自治体が出資・運営している会社である。

【会社概要】

会社名 : Romerike Avfallsforedling IKE (ROAF)

設立 : 1991年

所有者 : 7自治体 (図2参照)

従業員 : 約160人

売上高 : 約4億NOK (約5.1億円)

所在地 : リレストレム自治体

事業戦略 : 循環経済と廃棄物ピラミッドの2つの基本的柱

(循環経済) : 資源循環から失われる資源をできるだけ少なくし、廃棄物の再利用とマテリアルリサイクルを増やす

(廃棄物ピラミッド) : リデュース、リユース、リサイクル、熱回収、埋立

事業内容 : 住民の廃棄物の収集、分別、リサイクル、再利用

運営施設 : 家庭廃棄物の処理施設、埋立処分場



図2. 運営出資7自治体

【施設概要】

施設名 : ロメリケ廃棄物処理施設

竣工 : 2014年1月

所在地 : Bølerveien 93, 2020 Skedsmokorset, Romerike, NORWAY (オスロから約25km)

建設 : STADLER 社

建設費 : 234,000,000 NOK

対象人口 : 約20万人 (9万世帯)

対象ごみ : 混合ごみ、混合プラ、有機廃棄物

処理能力 : 30t/h

運転時間 : 7時~20時 (2交代勤務)

処理系統 : 100番台/混合ごみ、200番台/混合ごみ+プラごみ、300番台/混合プラ、有機廃棄物

主要機器 : 光学選別機、破袋機、破砕機、ドラムスクリーン、磁選機、非鉄選別機

その他設備 : 太陽光発電設備 (選別施設で電力利用)、最終処分場

運転人員 : 7名×2班

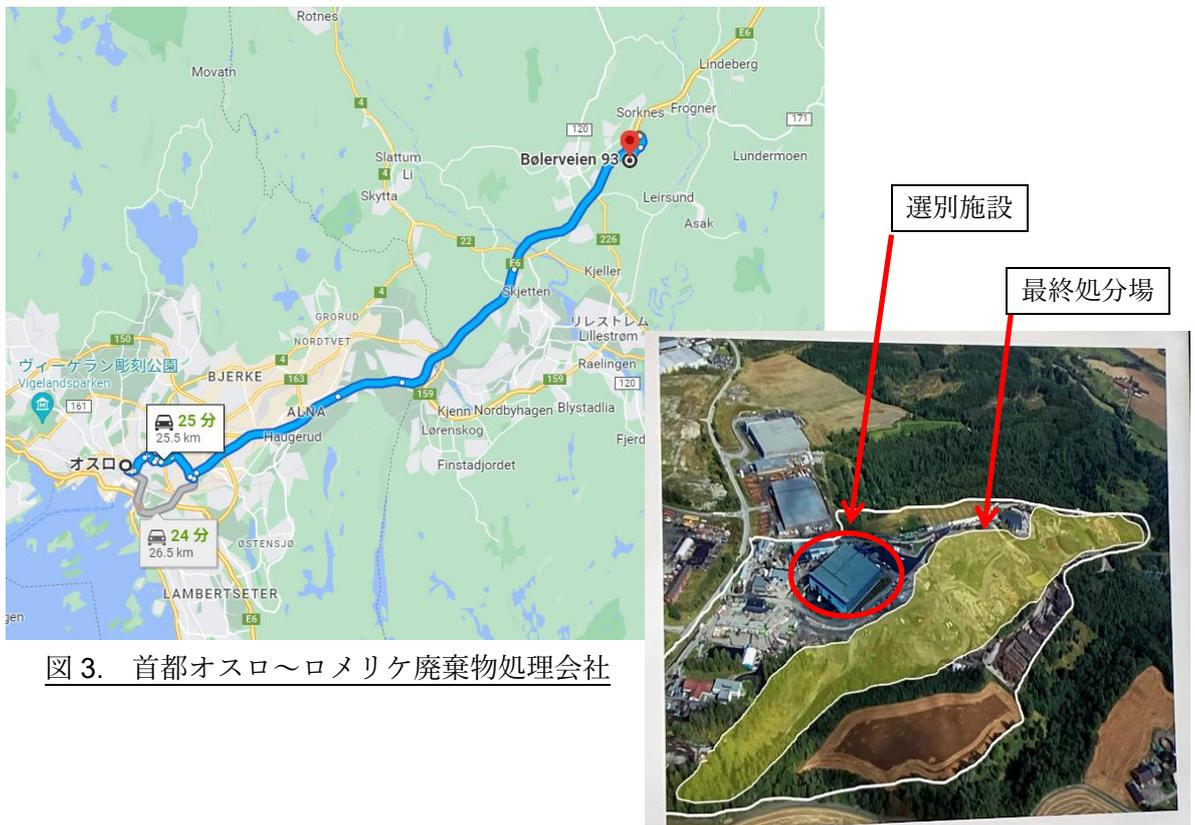


図3. 首都オスロ~ロメリケ廃棄物処理会社

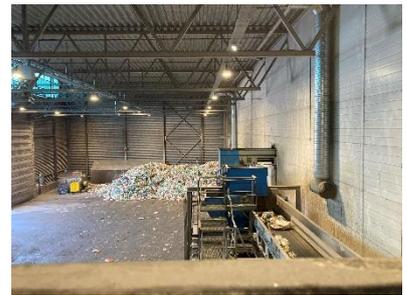
施設全景



一般家庭用ごみ箱



施設外観



受入ヤード

2-1 混合ごみ選別施設施設

2-1-1 概要、処理状況

2014年竣工当初の計画では、選別ラインは完全自動運転（無人）の施設で、年間処理量は40,000トン処理の施設規模であったが、2022年実績では、年間75,000トンの処理となっている。1日の搬入量は約500トンである。各家庭の生ごみ（食品廃棄物）はグリーンバッグとして回収されることになっているが、約50%の生ごみ（食品廃棄物）が混合ごみとして回収される。この生ごみ（食品廃棄物）を含んだ混合ごみについては、選別処理工程で問題となっていないが、住民の意識向上を向上させることを踏まえて、今年中に3つ目のごみ箱（生ごみ専用のごみ箱）を設ける予定である。

紙類は、2021年まで処理していたが、現在は本施設で処理せず、別途資源回収されている。また、ペットボトルはデポジット制（2NOK/本）を採用しており、資源回収率は約92%で非常に効果的である。

表1 選別設備の処理状況

処理状況	2014年当初		→	2022年実績	
	年間処理量 (ton)	割合 (%)		年間処理量 (ton)	割合 (%)
・処理能力：30t/h	40,000	100		75,000	100
・グリーンバッグ（食品廃棄物）→ バイオガスプラントへ	6,000	15.0		11,000	14.7
・プラスチック類 → PET、PP、PE（HDPE）、フィルム（LDPE） （※1） 混合プラスチック	2,500	6.3		3,750	5.0
・紙類 → 混合紙（22年以降処理していない）	1,500	3.8		0	0.0
・金属類 → 鉄、非鉄（混合ごみに混入しているもの）	1,000	2.5		1,150	1.5
・選別残渣 → 熱回収施設（スウェーデン）へ	29,000	72.5		57,000	76.0
				合計：3,750 ton	

※1：プラスチック類内訳 PET：150 ton、PP：550 ton、PE：250 ton、LDPE：2,800 ton
※22年数値はROAF社プレゼン資料から引用。

施設内は、110基のコンベヤ（約1,300m）、破碎機、ドラム式や振動式のスクリーン、16基の光学選別機、磁力選別機などの機器で構成されている。混合ごみから生ごみ（食品廃棄物）の入ったグリーンバッグを自動選別し、グリーンバッグ以外の廃棄物は、選別機により金属類とプラスチック類に選別する。プラスチック類は更に光学選別機で5種類の材料に自動選別される。選別方式は、磁石、渦電流、近赤外線を採用している。

処理ラインは、処理対象物や選別構成ごとに100、200、300番台と区分されており、グリーンバッグは100番台で自動選別された後、バイオガスプラントに搬送されメタンガスを生成している。200番台の処理ラインでは、破碎機、磁力選別機、ドラムスクリーン、光学選別機などから、鉄、非鉄金属、混合紙、プラスチックへと選別される。選別されたプラスチックは、300番台の処理ラインにおいて、近赤外線（NIR）技術を利用した光学選別機により、PET、HDPE、PP、LDPE、混合プラの5種類のプラスチックに選別され、圧縮梱包後、場外へ搬出される。



施設内概観



選別物貯留ゲート



圧縮梱包品

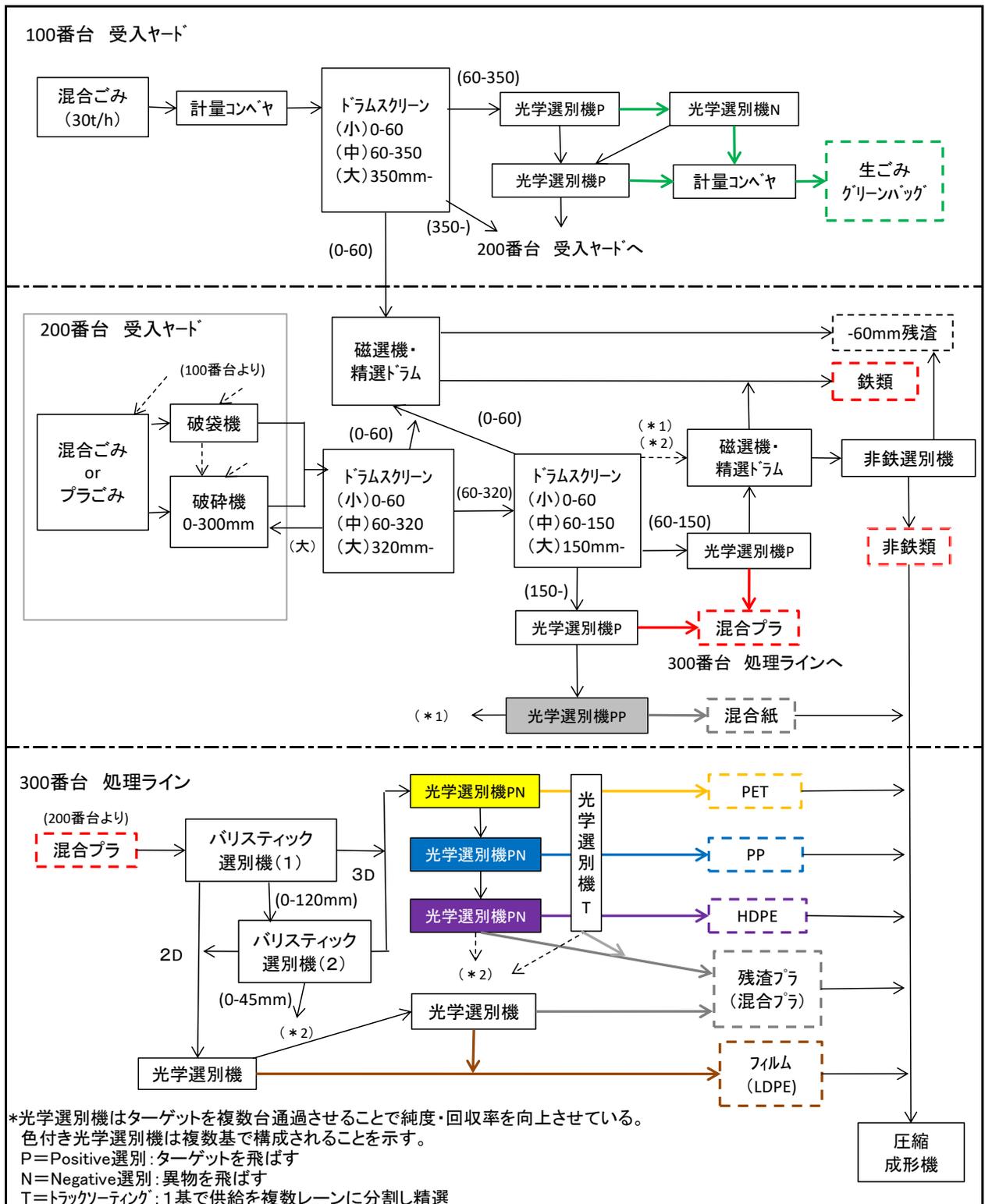


図4. 処理フロー (概略)

図4の処理フローより様々な種類の選別機に何度も通すことによりプラスチックを材料選別して回収し、純度・回収率を向上させている。日本では地域の雇用創出の観点からも手選別を採用している事例が多く、機器による自動選別はなかなか普及していない。また、ROAF社のような完全自動化の選別施設は世界でも珍しいと思われる。

ROAF社では、プラスチックの資源回収率を向上すべく、住民の選別意識の向上だけでなく、製造者にもリサイクルしやすい製品を製造するように依頼している。選別精度が悪い廃棄物があれば、製造者とディスカッションし、国全体でリサイクル率を向上させようとしている。

3. バイオガスプラント

3-1 概要、処理状況

ロメリケバイオガスプラントでは、ロメリケ廃棄物処理施設で分別された食品廃棄物(グリーンバッグ)を受入れ、メタン発酵させたのちバイオガスを生産、精製している。今回、当施設のプラント設備のベンダーである CAMBI 社より、主に当施設の処理フローの概要について説明を受けた。(諸事情により施設見学はしていない)

【説明日】 2023 年 2 月 20 日 14:00~15:00

【説明者】 CANBI / Dragos Talbescu

【施設概要】

施設名 : ロメリケバイオガスプラント

所在地 : Miljøparkvegen 105, 2160 Vormsund, NORWAY (ロメリケ廃棄物処理施設から約 30km)

対象ごみ : 食品廃棄物

処理能力 : 14,250 t-DS/年(約 40 t-DS/日)

主要機器 : 洗浄分別装置、熱加水分解リアクター、フラッシュタンク、メタン発酵槽
バイオガス精製装置

【処理概要】

本プラントの処理能力は 14,250 t-DS/年(40 t-DS/日)であり、処理フローは以下のとおりである。なお、今回視察がかなわなかったため、記載内容の一部は施設ホームページにより引用した。

① 前処理工程

グリーンバッグに入った食品廃棄物は、まずバイオセパレータ(洗浄分別装置)でプラスチックや金属等の異物が除去され、さらに混合槽で破碎され穴径 10mm のスクリーンプレスで再度異物が除去される。その後、中間貯蔵タンクに移送され性状を均質化する。

② 熱加水分解工程(図 5)

中間貯蔵タンクから移送された食品廃棄物は、熱加水分解リアクターで 165°C、6.5 bar の圧力下で熱加水分解される。約 20~30 分間高温、高圧力にすることで病原体や植物の種子、菌類等を死滅させ、可溶化を促進する。その後、可溶化液はフラッシュタンクに開放されることで、細胞壁が破壊されてさらに生分解性が向上する。

③ メタン発酵工程

2 基の 3,200 m³ 容量のメタン発酵槽で、熱加水分解された可溶化液が約 40 °C で 24 日間発酵し、CH₄:CO₂=60:40 のバイオガスが得られる。消化液はスクリーンで異物を取り除き貯蔵タンクに貯蔵され、肥料として還元される。

④ バイオガス精製工程

ガスホルダーに貯蔵されたバイオガスは、水スクラバーで CO₂、H₂S 等の水溶性ガスを除去し、乾燥機にかけることで純度 97~99% のメタンガスに精製される。さらにメタンガスをガスフィルターに通すことでメタン純度 99.97% まで高純度化し、輸送コスト節約のため 162°C に冷却し液化バイオガス(LBG)として貯蔵する。

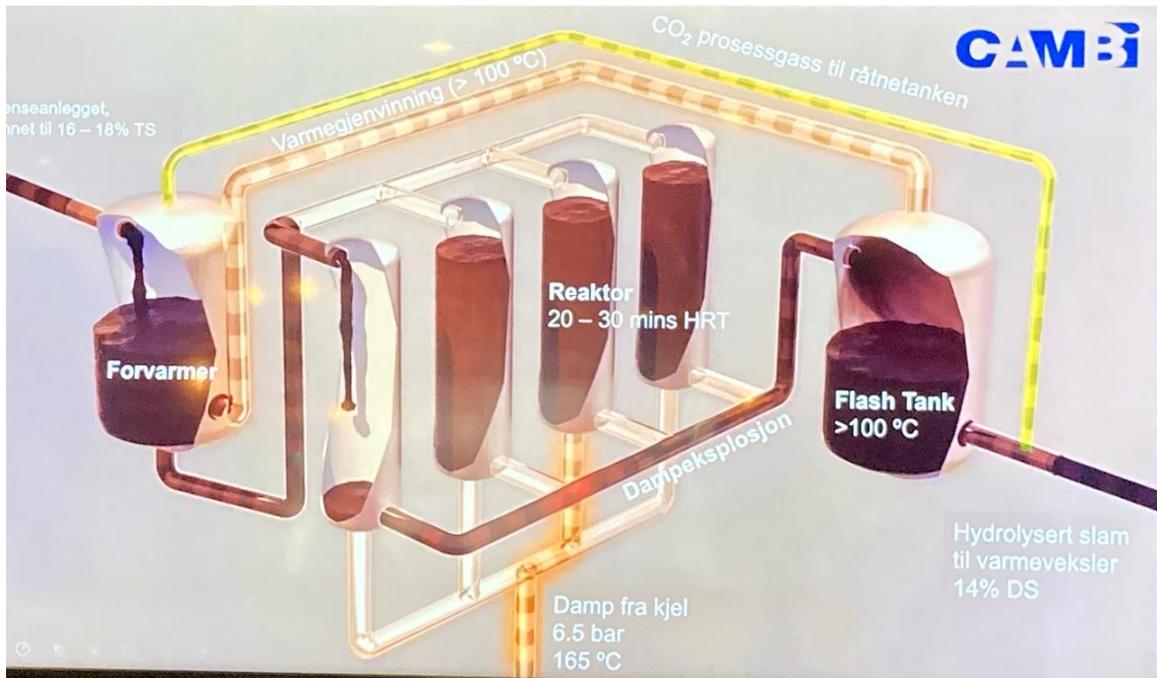


図5. 熱加水分解設備イメージ

LBG はオスロの公共バスの燃料として使用されており、100 台以上のバスに燃料を供給している。消化液や残渣は、液肥やバイオソリッドとして農地に還元されている。物質収支は図6 のとおりである。

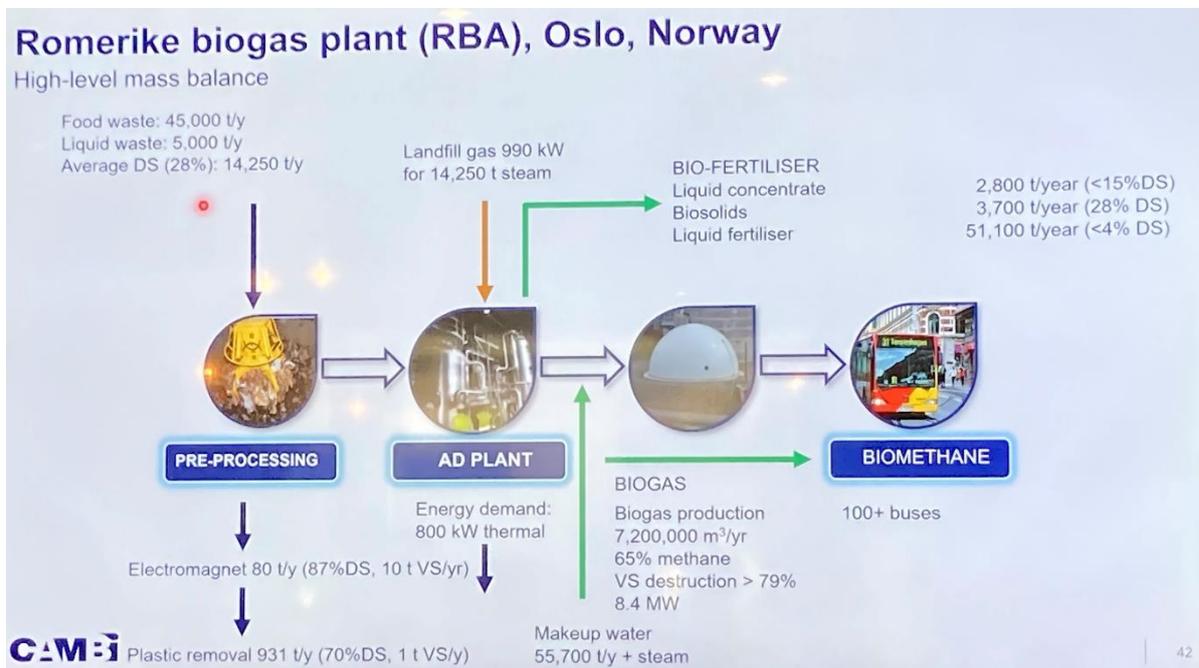


図6. 物質収支

【参考】

日本にもこの熱加水分解と同様に高温高圧力下(180°C、飽和蒸気圧)で処理する亜臨界水処理があるが、目的は可溶化による発酵効率の向上と殺菌効果であり、今回の熱加水分解のようなフラッシュタンクにおける細胞壁の破壊は謳われていない。

4. おわりに

制度的観点から

ノルウェーも、リデュース、リユース、リサイクル、サーマルリサイクルを推進し、日本と同様、最終処分量が極めて低い状況である。また、ノルウェーは EU 加盟国ではないが、EU 方針にしたがってプラスチックを積極的に選別し、再利用、再生利用している。今回視察した選別施設は、その方針に従った高度な選別施設であった。

技術的観点から

今回視察した選別施設は、近赤外線式選別機を多用し、各種プラスチックを選別し、その選別純度は高い。日本の場合は、自治体所有の一般廃棄物処理施設で、ペットボトルとその他容器包装プラスチックを選別する程度であり、その次工程は民間のリサイクル処理施設で素材ごとのプラスチックに選別している。

今回の視察では、上記の制度的および技術的な両方の観点から、日本と異なる状況を認識することができた。しかしながら、プラスチックを回収し、素材ごとにプラスチックを選別するためには、今回視察した高度な選別施設が必要であるため選別コストが高くなり、そのコストが国民の負担になることも確認できた。日本でも、プラスチックをサーマルリサイクルから、マテリアルリサイクル、ケミカルリサイクルの方針であるが、素材ごとに選別するプラスチック選別施設が少ないこと、サーマルリサイクルと比較するとコスト高になることなど、懸念することもある。今回のノルウェー訪問、廃棄物処理施設の視察は、今後のプラスチック処理を考える上で参考となるものであった。

ARC 社 Amager Bakke WtE プラント

【訪問先】 ARC 社(Amager Resource Center)/ Amager Bakke (WtE), CopenHill (Ski slope)

【所在地】 Vindmøllevvej 6, 2300 København, Denmark

【訪問日】 2023 年 2 月 22 日 (水) 11:00~12:00 (CopenHill), 14:00-16:00 (Amager Bakke)

【対応者】 Ms. Astrid Marie Nielsen (広報担当) ※Amager Bakke

1. はじめに

コペンハーゲンデンマークのシェラン島東端に位置する。コペンハーゲン都市圏の人口は約 210 万人であり、人口約 580 万人のデンマークの最大の都市である (図 1)。

視察対象の施設はシェラン島東部に位置するアマー島の工業地域に立地しており、周囲には火力発電所や化学工場等の工場が立地している。

	コペンハーゲン (都市圏)	デンマーク
人口	214 万人	579 万人
面積	3,372km ²	43,094 km ²



図 1: コペンハーゲン市の位置と概要 [Wikipedia, 2023]

2. デンマークのごみ処事情

2-1 デンマークの都市ごみ事情

デンマークで発生する都市ごみ（MSW）は2020年時点で約475万トン/年である [Eurostat, 2023]。人口一人あたりの排出量は814 kg/人・年であり、日本の337 kg/人・年やEU27か国平均値の521 kg/人・年に比べても多い水準となっている [Eurostat, 2023]。

図2に見られるようにデンマークの都市ごみのうち45%がリサイクルまたはコンポスト化され、53%が焼却されている。

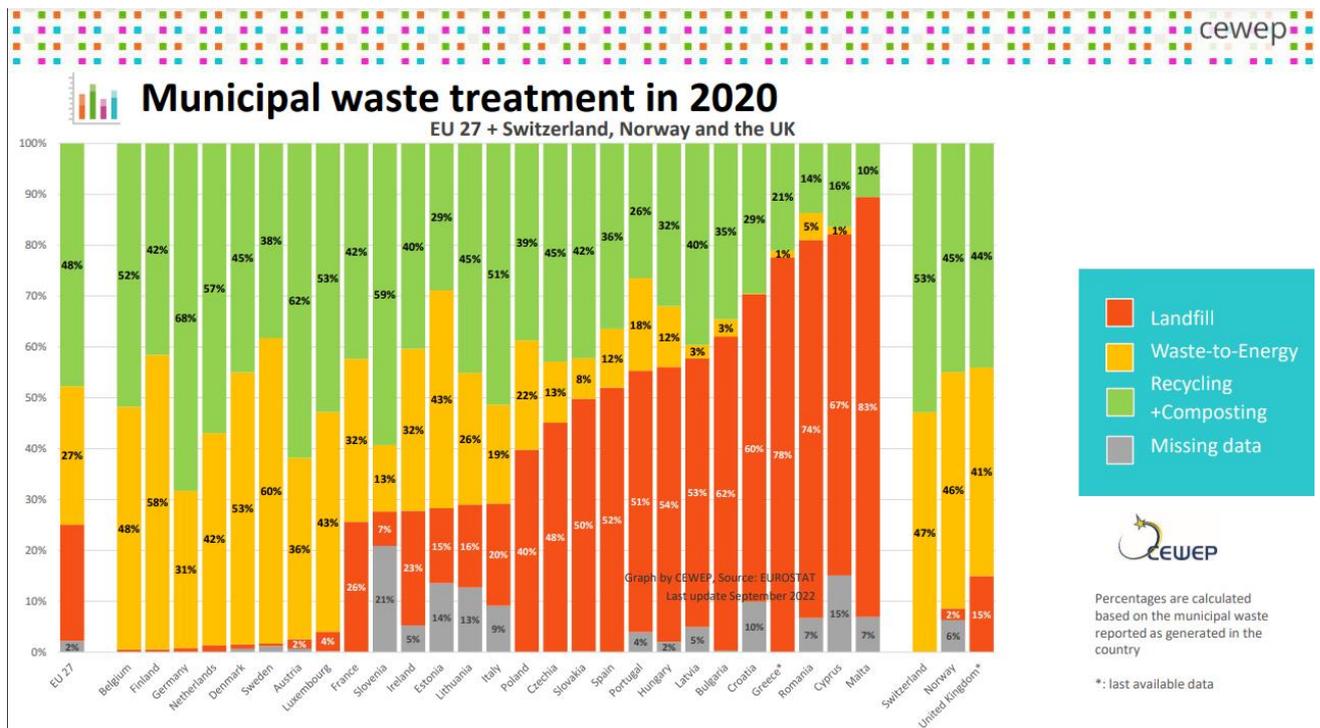


図2: EU27か国のMSWの処理状況 [CEWEP, 2022]

一方、別の統計（EEA: European Environment Agency）によると、デンマークにおける都市ごみリサイクル率は2019年時点で52%に到達しており（図3）、欧州のCircular Economyの新廃棄物法パッケージで規定される都市ごみリサイクル率の目標値50%（2025年）、55%（2030年）に対して、達成が近づきつつある状況である。

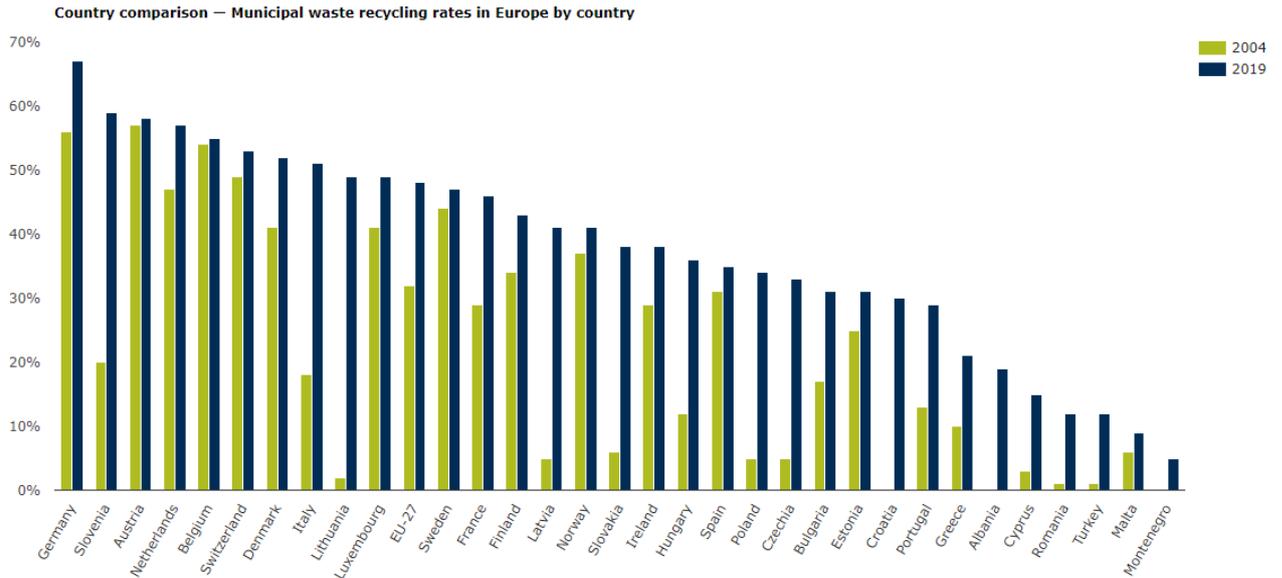


図 3: 欧州各国の都市ごみのリサイクル率（2004 年および 2019 年） [European Environment Agency, 2021]

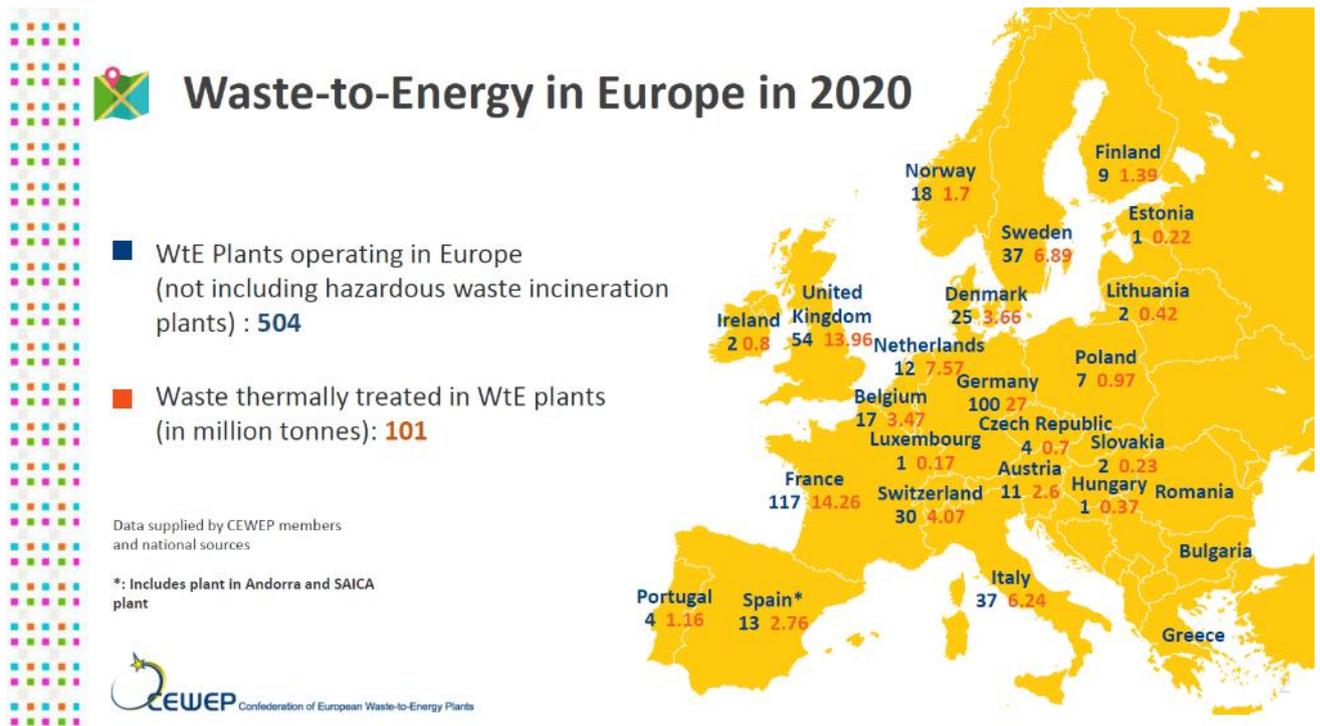


図 4: 欧州の WtE 施設数と WtE 施設におけるごみ処理量（出典: CEWEP [CEWEP]）

デンマークには 25 の WtE 施設があり、366 万トン/年のごみが焼却されている（図 4）。Eurostat の統計上 475 万トン/年の都市ごみが発生しており、うち 53%が焼却されているとされ [CEWEP, 2022]、これらから計算される 252 万トン/年の都市ごみ焼却量と上記 366 万トン/年の差分である 114 万トン/年の焼却量は事業系廃棄物や他国からの輸入ごみであると考えられる。

2-2 コペンハーゲンにおけるプラスチックごみの分別

コペンハーゲンでは2020年頃よりごみの分別が強化されるようになり、家庭では①プラスチック、②紙、③段ボール、④金属類、⑤生ごみ、⑥小型電子機器の分類で専用コンテナに分けて排出されており、Curbside collection方式によって回収が行われている [Copenhagen Circular, 2020] [Helga, 2020]。缶・ビン・PETボトルは別途デポジット方式によって、消費者各自がスーパーマーケット等に設置された回収機を通して回収される。デポジットラベルが付いた包装容器（缶・ビン・PETボトル）のうち、92%はこのシステムによって回収されている [Copenhagen Circular, 2020]。さらに市民はリサイクルセンターや地元リサイクルステーションにごみを持ち込むことができ、持ち込まれたごみの中で再使用を希望する市民がいれば、持ち帰ることもできる。

プラスチックごみについては選別施設 (Sorting plant, Material Recovery Facility) にて、さらに選別が進められ、リサイクルしやすい良質のプラスチックはバール化されてドイツに輸出されている。これはデンマーク内に再生プラスチックを利用する事業者が存在しないためである。リサイクルが困難な低質のプラスチックは焼却施設に持ち込まれる。その結果、デンマークにおけるプラスチック製容器包装廃棄物のリサイクル率は22.9%にとどまっている (図5)。



図5: EU各国のプラスチック製容器包装廃棄物のリサイクル率(2020年) [Eurostat, 2022]

3. ARC 社 Amager Bakke WtE プラント

3-1 はじめに

Amrger Bakke（以下、アマーバクケ）は、焼却処分しかできないごみを処理し、エネルギーを回収する WtE プラントである。市民はごみ処理施設自体は必要なものという意識を持っており、衛生的に処理してくれれば（安心して生活することができれば）問題ないと考えている。

デンマークの国民性から、ごみ処理以外の目的でも利用できる施設として 2011 年に入札公告が発行され、スキー場との併設提案があり 2013 年に採択された。2017 年に焼却施設が竣工し、2019 年にレクリエーション施設を含めてすべてが完成した。アマーバクケの建設費は 42 億 DKK、スキー場を有する外側部（CopenHill と呼ばれている）は 9,300 万 DKK である。CopenHill（以下、コペンヒル）は将来的には植栽する計画がある。グリーンに見えることは市民へのアピールの面でも効果がある。

本デザインが受け入れられた背景として、デンマークには山がなく（国内最高標高は 170m）、山に登りたいというのが国民の願望としてある。コペンヒルはスキー利用のみ有料（350 DKK/時間）であるが、誰でも入ることができ、市民の散歩道となっている。山登りを体験することで健康を提供している。また、結婚式や誕生日会などの利用も可能で、音楽祭なども行われる。

市民は本施設を誇りに感じており、スキー場ができるということで土地代が上がり、施設の近隣には高級マンションが建設された。

3-2 運営会社

運営会社である ARC 社（Amager Resource Center）は、コペンハーゲン市周辺の 5 つの地方自治体（Dragor 市、Frederiksberg 市、Hvidovre 市、Copenhagen 市および Taernby 市）が出資する公共会社（非営利企業）である。ARC 社が対象とする 5 市の住民数は約 645,000 人であり、68,000 の事業者からのごみと併せて、年間約 54 万トンのごみを焼却処理している。以下に ARC 社の主要数値を示す。

- 年間売上高：1,179 百万 DKK（デンマーククローネ）
（約 229 億円@19.39 JPY/DKK）（2021 年）
- 年間ごみ焼却量：535,000 トン（2021 年）
→ 定格処理量 35 t/h x 2 lines から計算すると年間運転時間は 7,643 hr/a（318 日/年）
- 年間ごみリサイクル量：100,898 トン（2021 年）
- リサイクルセンター（Recycling Centres）数：10 施設

- 地元リサイクルステーション数 (Local Recycling Station) : 9 施設
- 従業員数 : 373 名 (2022 年) (ごみ収集事業を開始したため、2023 年には従業員数は 500 名程度となる見通し。ごみ収集事業は 2022 年時点で既に開始している。また、これに伴い収集車を電化するため、充電の観点から 2 シフト制 (6 時~22 時) とする。)

ARC 社が収集するごみの 39%はリサイクルされ、58%は焼却処理されている。3%は有害廃棄物。

3-3 事業形態

ARC が手掛けている事業を表 1 に示す。

表 1: ARC 社の事業内容

Waste collection、ごみ収集
Waste to Energy、廃棄物発電
Recycling centers、リサイクルセンター
Local recycling points、地元リサイクルステーション
Transfer station、ごみ中継基地
Sorting plant、ごみ選別プラント
Hazardous waste, SMOKA、有害廃棄物処理
Safe landfill、最終処分場

デンマークにおける都市ごみ発生量は 814 kg/年・人であり、これは国際社会に自慢できることではないと考えており、ARC 社はごみ減量を目的とした教育・啓蒙活動も使命であると考えている。

なお、外観レクリエーション施設 (通称 : コペンヒル) については 4 つの民間財団からの寄付と公的機関からの融資による信託基金を基にコペンヒルという民間事業団が組成され、施設運営を行っている [WORK MILL, 2021]。

3-4 施設概要

(1) 焼却施設

ごみ搬入車両は約 200 台/日。ごみピット容量は 22,000 トン分であり、これは定格ごみ処理量 (1,680 トン/年) の 13 日分に相当する。

ごみ選別施設でリサイクル可能なものを選別したあとの焼却処理しかできないごみを対象に 2021 年のごみ処理量は 535,000 トンであり、1,507 GWh のエネルギーを回収し、電気・地域暖房

熱として 90,000 世帯に供給している。回収するエネルギーのうち電気は 0-30%、地域暖房が 70-100%であり、地域暖房需要が多い冬季には地域暖房熱供給量を増やすように、電力⇔地域暖房の運転モードを変更している。さらに熱需要が多い冬季には、イタリアやイギリス、アイルランドからごみを輸入して熱供給量を増やす工夫をしている（処理量に対して 20%程度）。これはごみの分別回収が進んだことによるプラスチックごみ量の減少、ごみ発熱量の減少による供給側熱補填の意味合いがある。

ごみの灰分は 17~20%程度であり、主灰は 80,000ton/年程度、金属類は 5,500ton/年程度発生している。主灰は路盤材としてリサイクルしており（無料に近いような）安価ではあるが販売している。

プラントの中で最も費用をかけているのが排ガス処理設備であり、30 億 DKK（※説明者・通訳に確認済みも 1 桁違う可能性あり）（図 6）。プロセスフローは以下の通り。280℃で電気集じん機（ESP）を通過後に 190℃で触媒脱硝塔（SCR）にて NO_x を除去する。その後、節炭器（ECO）で排熱回収を行ったのち、その後 2 つのスクラバー（HCl スクラバー及び SO₂ スクラバー）によって酸性ガスおよび水銀を除去する。さらに排ガス凝縮（Flue Gas Condenser）により排ガス中の水分を凝縮させることにより、水の蒸発潜熱を回収し、熱回収効率を向上させるプロセスを採用している。排ガス中の各有害成分は非常に低いレベルまで低減しているが、これは、市民が望んでいるものであり、徹底した処理について費用をかけることは理解している。

Effective flue-gas treatment

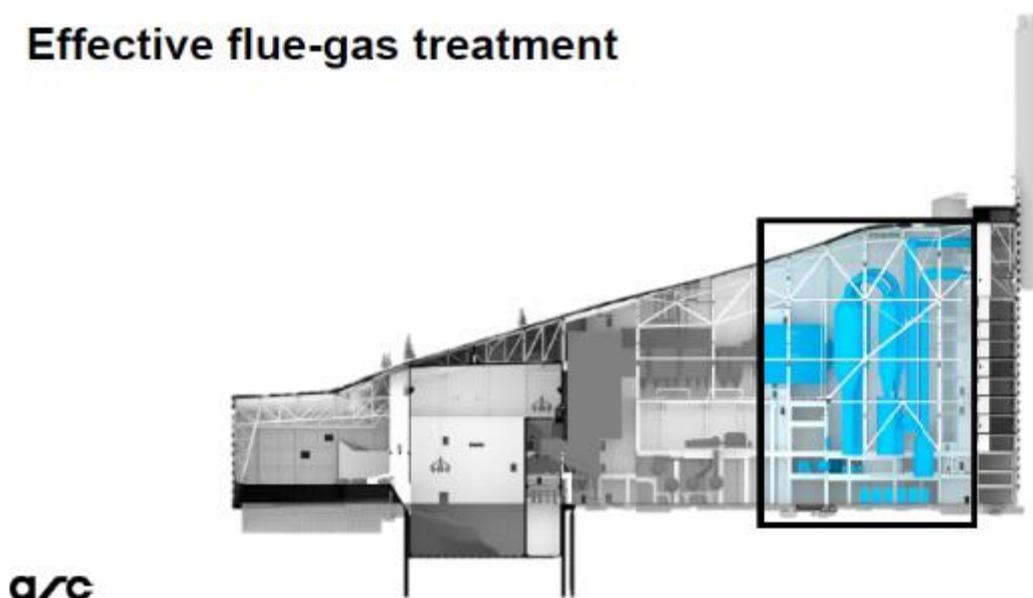
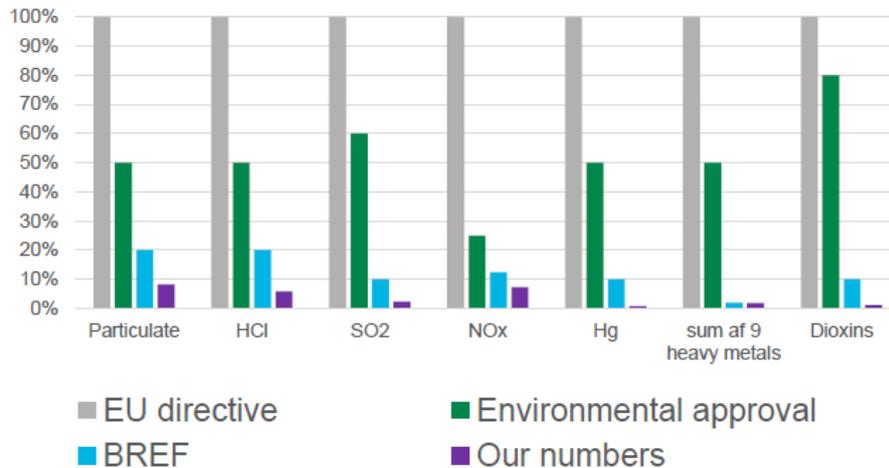


図 6: アマーバツケ施設の排ガス処理設備群

Our performance in flue-gas treatment



a/c

図 7: アマーバツケ施設の排ガス規制値および運転実績値

以下にアマーバツケのプラントの緒元を示す。

表 1: アマーバツケ施設のプラント諸元

項目	内容	備考
処理能力	840 t/日×2 炉 (35 t/h×2 炉)	
炉形式	ストーカ式	B&W Volund 社 Dynagrate
蒸気条件	70 barG・440℃	
蒸発量	137 t/h×2 炉	
排ガス処理	ESP→SCR→Ex-ECO→HCl Scrubber→SO ₂ Scrubber→ FGC(Flue Gas Condenser)→ID Fan→Stack	
建設費	42 億 DKK うち 9,300 万 DKK が CopenHill 等外構分相当	約 814 億円相当 約 18 億円相当
ごみ処理量	535,000 トン	(2021 年実績)
エネルギー 供給量	1,507 GWh 約 90,000 世帯分	(2021 年実績)
資源回収量	主灰: 80,000 トン/年 メタル: 5,500 トン/年	約 15%相当 約 1%相当

プラント供用開始初年の2019年は赤字であったが、その後、事業系ごみ処理量増によるごみ処理委託費収入の改善などにより、2020年より黒字化することができた。

(2) CO₂回収施設

一般的に、1トンのごみから1トンのCO₂が排出される計算であるため、アマーバツケにおいては年間約500,000 t-CO₂のCO₂回収のポテンシャルがあり、そのうち約67%がバイオマス起源のCO₂、約33%が化石燃料起源のCO₂であると計算している。

アマーバツケでは炉室内に設置した小型CO₂回収パイロットプラント(20-40 kg-CO₂/h)で検証してきた。今後、EUからの補助金を活用して2023年夏より160 kg-CO₂/h規模の中型装置を設置する計画である[ARC, 日付不明]。CO₂回収には大量のエネルギーを消費することから、デンマーク政府はこのエネルギーを回収、再利用システムを要求している。再利用システムのひとつの例としてCO₂回収プロセスで回収した熱を地域暖房システムに導入することが考えられている。

なお、回収したCO₂の固定化(CCS技術部分)についてはARC社の業務範囲外である。

(3) コペンヒル(グラススキー場等のレクリエーション施設)

詳細なスコープは不明であるが、コペンヒルを含む外構部分の建設費は9,300万DKK(約18億円)。コペンヒルは元々は人口雪スキー場とする計画であったが、グラススキー場へ計画変更された。グラススキー場は350DKK/時間で利用可能(スキー板レンタル、リフト利用含む)。グラススキー場の全長は400mであり、4本のリフトでGL+78mまで登ることが可能。この地点にはエレベーターによってもアクセスすることができ、市民の結婚式披露宴会場や誕生日会、音楽コンサートなどの用途として利用されている。プラント外壁一面のうち一部は、85mのボルダリング壁となっている(人工的ボルダリング壁としては世界最高高さ)。こちらはコペンヒルの運営とは別のボルダリングクラブが運営しており、市民利用としては開放されていないが、将来的にはコペンヒルに運営権が譲渡され、市民にも開放されることになるであろうとのこと。

コペンヒルの運営開始後より、スキーや散歩などのアクティビティを行う市民グループ・コミュニティが複数組成されるようになり、市民の交流の場として活用されるようになった。

説明してくれた方やガイドの方も、本施設に誇りをもっていることが感じられ、市民は所謂NIMBY(Not In My Backyard)施設という感覚を持っていないのだろうと思われた。



CPH 空港における PR ポスター



人魚姫とともにランドマークとなっている



85m ボルダリング施設



コペンヒルの案内板

3-5 討議

ごみ処理にはコストがかかることからごみ量を減らす必要がある。このため、デンマーク政府は現状デンマーク国内に 25 施設ある廃棄物発電施設を 20 施設に減らす計画である。

アマーバツケはエネルギー回収が世界最高レベルの施設であり CO₂ 削減に貢献できる。排出される CO₂ は化石燃料由来とバイオマス由来があるが、ARC 社は前者を中心に回収したいと考えている。

デンマークでは回収されたプラスチックは選別施設 (Sorting plant) にて種類別に分けられ、リサイクルしやすい良質のプラスチックはベール化して輸出され、ドイツにてマテリアルリサイクルされている。一方で、リサイクル困難な低質のプラスチックは焼却処理されている。また、プラスチック回収によって発熱量が低下したごみの熱量補填のために、イギリス、アイルランド、イタリアより選別の悪いごみを輸入して焼却を行っている。(なお、施設見学時のごみピット内のごみは黒色をしており、カラフルな容器包装プラスチック類は見られず、ごみカロリーは低そうであった。)

デンマークでは 2030 年までに 1990 年比で 70% の温室効果ガス排出量削減をターゲットとしており、2025 年から企業を対象とした炭素税を導入することが決定している (課税額は 460 DKK/t-CO₂ 程度とのこと)。さらに 2030 年からは ETS (the EU Emission Trading Systems) に参加する企業を対象に課税額が 1,125 DKK/t-CO₂ に増税される [Enerdata, 2022] [Maddyne, 2022]。

4 おわりに (所感)

本施設の視察目的として一つは地域に受け入れられているポイントを知ること、もう一つは循環経済の施策 (特にプラスチックのリサイクル) が進められているなかで、地域のエネルギー拠点であり続けるための考えを聞くことであった。前者については、山への憧れという潜在的なニーズと複数の機能を併せ持つ施設を作ろうとする国民性が大きいことを理解することができた。後者については、不足するごみは輸入して賄うという、日本とのごみ処理システムの違いを認識できた。

視察時の説明を通じて、なるほどと思うことがほとんどであったが、排ガスの規制値に対して合理的な考え (規制値を満足すれば問題ない) をもっているものと先入観があったため、処理設備に多額な費用をかけて基準値を極めて低くしている点は驚きであった。

斬新なデザインのごみ処理施設が建設された背景として、多目的での施設利用のコンセプトを背景に山のない国に人口の山を作って、都市のランドマーク化してしまうというアイデアが印象的であった。施設を環境教育・啓蒙の場としたり、地域コミュニティに交流の場を提供する考え方は

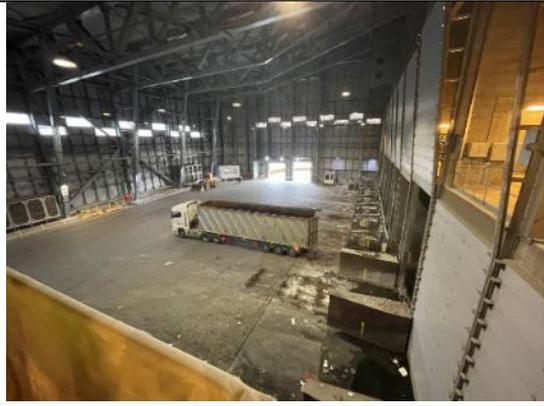
日本も共通しているが、アマーバツケでは市民が誇りに思える施設となり、近隣に高級コンドミニアムが建設されるなど、日本よりもさらに一歩、二歩進んでいると感じた。このような施設を建設するにあたり、民間・公共の責任分担・役割分担や施設整備の計画段階の話について、もう少し時間があれば聞いてみたかった。

なお、補足情報については ARC 社の受入対応者 (Ms. Astrid) に問い合わせた結果を踏まえ、Web 情報も活用してまとめを行ったことを、最後に付け加えさせていただきます。

(参考) 施設写真



説明の様子



プラットフォーム



クレーン操作室



焼却炉



ごみピット



焼却炉(火格子部)

以上

参照文献

- ARC. (日付不明). Demonstration plant for CO2 capture 2023. 参照先: <https://a-r-c.dk/klima-og-miljo/co2-fangst/demonstrationsanlaeg-til-co2-fangst/>
- CEWEP. (2022年9月26日). Latest Eurostat Figures: Municipal Waste Treatment 2020. 参照先: <https://www.cewep.eu/municipal-waste-treatment-2020/>
- CEWEP. (日付不明). Waste-to-Energy In Europe in 2020. 参照先: <https://www.cewep.eu/waste-to-energy-plants-in-europe-in-2020/>
- Copenhagen Circular. (2020年8月7日). Waste management system in CPH. 参照先: <https://circulareph.cphsolutionslab.dk/cc/about/waste-management>
- Enerdata. (2022年6月27日). Denmark will introduce a corporate carbon tax from 2025. 参照先: <https://www.enerdata.net/publications/daily-energy-news/denmark-will-introduce-corporate-carbon-tax-2025.html>
- European Environment Agency. (2021年4月13日). Municipal waste recycling rates in Europe by country. 参照先: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/municipal-waste-recycled-and-composted-5#tab-chart_5
- Eurostat. (2022年10月20日). Plastic packaging waste: 38% recycled in 2020. 参照先: <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-eurostat-news/-/ddn-20221020-1>
- Eurostat. (2023年3月2日). Population and employment. 参照先: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/namq_10_pe/default/table?lang=en
- Eurostat. (2023年1月14日). Waste generation per capita. 参照先: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cei_pc034/default/table?lang=en
- Helga. (2020年10月2日). ごみ分別開始 in DK. 参照先: <https://helgashjem.exblog.jp/30240019/>
- Maddyness. (2022年7月11日). Denmark has introduced the highest corporate carbon tax in Europe. 参照先: <https://www.maddyness.com/uk/2022/07/11/denmark-has-introduced-the-highest-corporate-carbon-tax-in-europe/>
- Wikipedia. (2023年02月27日). コペンハーゲン. 参照先: <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%B3%E3%83%9A%E3%83%B3%E3%83%8F%E3%83%BC%E3%82%B2%E3%83%B3>
- WORK MILL. (2021年12月21日). 世界一楽しい廃棄物発電所「コペンヒル」の事例から学ぶ、共創型プロジェクトの進め方. 参照先: <https://workmill.jp/jp/webzine/copenhill-project-management-20211221/>

AVR 社 CO₂ 回収プラント

【訪問先】 AVR 社 Duiven 処理場 (アムステルダム)

【所在地】 Rivierweg 20, 6921 PZ Duiven

【訪問日】 2023 年 2 月 23 日 (木) 14:00~16:00

【対応者】 Mr. Robert Hageman (Site Manager)

1. はじめに

オランダは北海に面しており、ドイツ・ベルギーと国境を接する欧州北西部の国である。国土は日本の九州よりやや大きい 41,528km²、人口は約 1,710 万人と日本の 1/7 程度となっている。今回の視察先はアムステルダムの南西約 90km にある Duiven に立地しており、最寄りの高速道路 IC 付近には IKEA などの量販店があるが、その周りには広大な農地が広がっている (図 1、2)。



図 1 オランダ・アムステルダムの位置



図 2 Duiven 処理場周辺の様子

2. オランダのごみ処理事情

オランダでは1980年代の後半に埋立能力の不足や焼却能力の不足が顕在化したことにより、ごみ処理方針の転換が図られ1985年に35%だった埋立処分率が2020年には1.4%に減少、熱回収を含むリサイクル率は50%から98%に向上している^{1,2)}。また、国内の年間ごみ発生量は2019年で約880万tとなっており、過去10年で8%程度減少している。日本と比べると発生量は約20%程度と少ないが、一人当たりのごみ発生量は515kg/人・年であり、日本の337kg/人・年に対し約1.5倍となっている(表1、2)。AVR社へのヒアリングからは、オランダ国内には13か所のごみ焼却施設があり、そのうち約半数が民営、残りが公営となっていることが分かった。なお、OECDデータではリサイクルに占める焼却処理の割合は42%となっており、日本のそれと比べると半分程度となっている。

表1 日本とオランダの年間ごみ発生量比較

(単位：千t)

Location ▼	▼ 2010	▼ 2011	▼ 2012	▼ 2013	▼ 2014	▼ 2015	▼ 2016	▼ 2017	▼ 2018	▼ 2019
Japan	45 359	45 430	45 234	44 874	44 317	43 981	43 170	42 894	42 727	42 737
Netherlands	9 484	9 479	9 203	8 840	8 894	8 866	8 861	8 792	8 806	8 806
OECD - Europe	278 809	278 379	273 396	270 975	272 008	274 200	283 182	285 229	286 305	290 254
OECD - Total	670 576	673 221	669 319	669 896	674 718	682 495	697 436	700 348	726 167	730 742

Information on data for Israel: <http://oe.cd/israel-disclaimer>

表2 日本とオランダの一人当たりの年間ごみ発生量

(単位：kg/人)

Location ▼	▼ 2010	▼ 2011	▼ 2012	▼ 2013	▼ 2014	▼ 2015	▼ 2016	▼ 2017	▼ 2018	▼ 2019
Japan	352.9	353.5	352.2	349.7	345.8	343.6	337.9	336.4	335.9	336.9
Netherlands	568.5	566.3	548.1	524.8	526.5	523.4	521.8	516.5	516.2	515.1
OECD - Europe	501.2	497.9	486.6	480.0	479.4	481.0	494.4	495.7	495.3	500.2
OECD - Total	518.9	517.4	511.0	508.3	508.7	511.4	519.5	518.6	534.7	535.2

Information on data for Israel: <http://oe.cd/israel-disclaimer>

オランダでは一般家庭ごみのほか、地域によっては生ごみや紙・段ボール、プラスチックも収集が行われている。収集されるごみは、自宅前の専用コンテナや、路上に設けられたごみ貯蔵庫に入れることになっているが、アムステルダムを中心部では路上にそのまま置いている光景も見られた。また、日本でも見られるように、ごみ種別によるごみ袋の使い分けも行われている(図3)。



路上のごみ貯蔵庫（投入部の下部が貯蔵庫）



アムステルダム市内のごみ集積場

図3 アムステルダム市内の様子

3. 視察先の概要

3-1 AVR 社について

AVR 社は 1968 年創業で、廃水、紙パルプ残渣、一般廃棄物、産業廃棄物、廃木材、有害廃棄物等、さまざまな種類の廃棄物処理を行っている企業である。資本金は€100,000、2021 年の売上高は€300,845,000（それぞれ約 14 百万円、約 43,234 百万円 1€=¥143.71 : 2023 年 2 月 24 日 TTS レート）となっている。AVR 社は純粋な民間企業であり自治体等からの資本は入っていない。オーナーは香港の CKI 社（Cheung Kong Infrastructure Holdings Limited）であるが経営には直接関わっておらず、投資のみを行っている。また、AVR 社は視察先である Duiven の他にロツテルダム近郊の Rozenburg にも処理場を所有しており、そちらは欧州最大規模であるとのことであった。

3-2 WtE プラント

Duiven プラントにおける 2021 年の年間ごみ処理量は約 40 万トンであり、その約 50%が一般廃棄物、50%が産業廃棄物という割合になっている。また、2021 年における本施設の年間稼働時間（Availability）は 90.9%（≒7,963h）である（AVR 社 Annual Report 2021 より）。

プラント設備は日本国内と同様に建屋内に配置され、3 系列のストーカ（回転式火格子）炉とボイラにより周辺地域への熱供給、および系統へ売電が行われている。操業開始は 1974 年と古いですが、設備は健全で順調に操業されている様子がうかがえた。また中央制御室は最新の DCS や ITV 画面にリニューアルされている。蒸気タービンを 3 基有するなど、長期にわたる事業運営のなかで、設備を強化してきた歴史もうかがえた。表 3 に WtE プラントの諸元、図 4 にフロー、図 7 に写真を示す。

表 3 WtE プラントの諸元

項目	内容	備考
処理能力	360t/d (15t/h) × 3 炉 施設合計 1,080t/d	受領資料より ヒアリングでは 16t/h との説明有り
炉形式	ストーカ式 (Von roll 製)	回転火格子炉
ボイラ	① 温水回収用ボイラ × 1 基 高温水条件 15bar・180℃ ② 蒸気回収用ボイラ × 2 基 蒸気条件 40bar・400℃	受領資料より
発電機出力	TG-1 : 15,000kW TG-2 : 10,000kW TG-3 : 6,000kW	受領資料より
排ガス処理	E-filter + 3stage wet scrubber	受領資料より
灰処理	主灰は洗浄し建築資材として活用	ヒアリングより

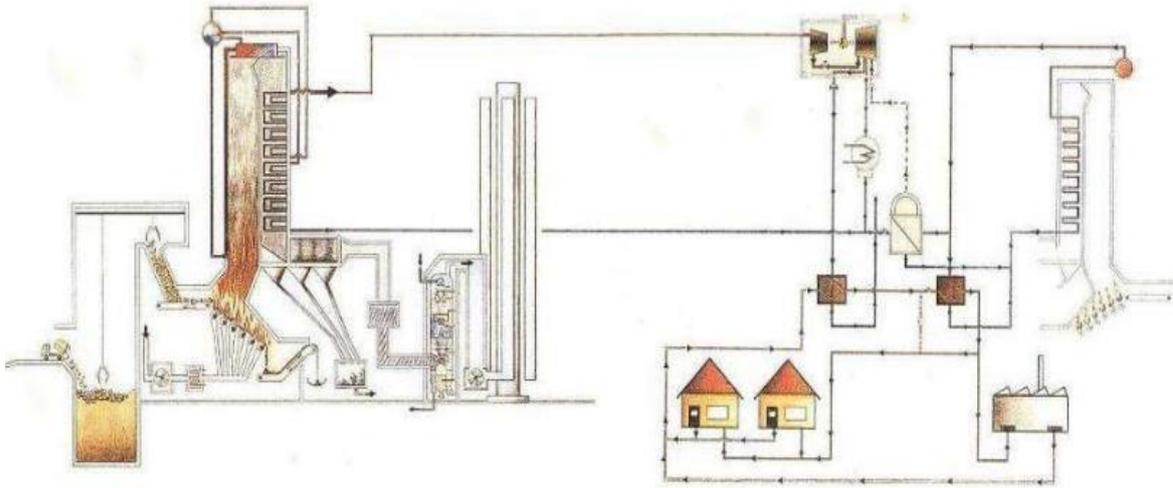


図4 WtEプラントフロー

AVR社から示されたCO₂排出収支(図5)では、本施設からのCO₂排出量は発電、蒸気・熱供給、CCU、マテリアルリサイクルの実施により、年間53ktCO₂e(化石燃料由来分)まで削減されている。その計算内容は次のとおりであり、化石由来CO₂の削減率は約95%となる。

$$\text{総排出量 (2,363)} - \text{非化石由来分 (1,383)} - \text{削減貢献 (927)} = 53 \text{ ktCO}_2\text{e}$$

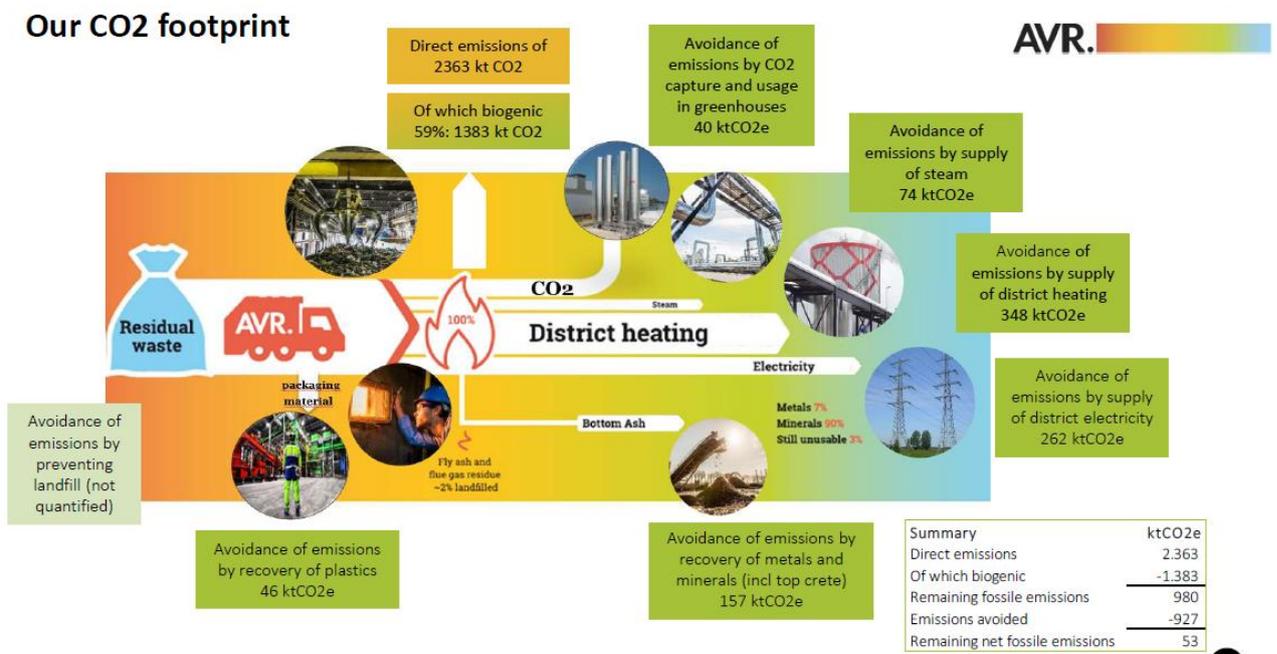


図5 CO₂排出量バランス

3-3 CO₂ 回収設備

CO₂ 回収設備は WtE プラントの隣地に屋外型設備として建設され、2019 年 8 月から稼働している。CO₂ の分離回収にはアミン吸収液（MEA : mono ethanol amine）を用いた化学吸収法が採用され、WtE 施設における回収熱が吸収液の再生に使用されている。プロセス全体は一般的な化学吸収法によるものであり、前処理設備、吸収塔、再生塔、後処理設備により構成されている。また、回収された CO₂ は液化貯蔵されたのち、農業向けに車両輸送により出荷されている。

表 4 に CO₂ 回収設備の諸元、図 6 にフロー、図 7 に写真を示す。

表 4 CO₂ 回収設備の諸元

項目	内容	備考
回収能力	12t-CO ₂ /h	
CO ₂ 回収方法	化学吸収法	
吸収液	MEA (monoethanolamine)	30%溶液
貯蔵容量	1,000t-CO ₂	タンク 4 基の合計
年間生産量	50,000t 以上	

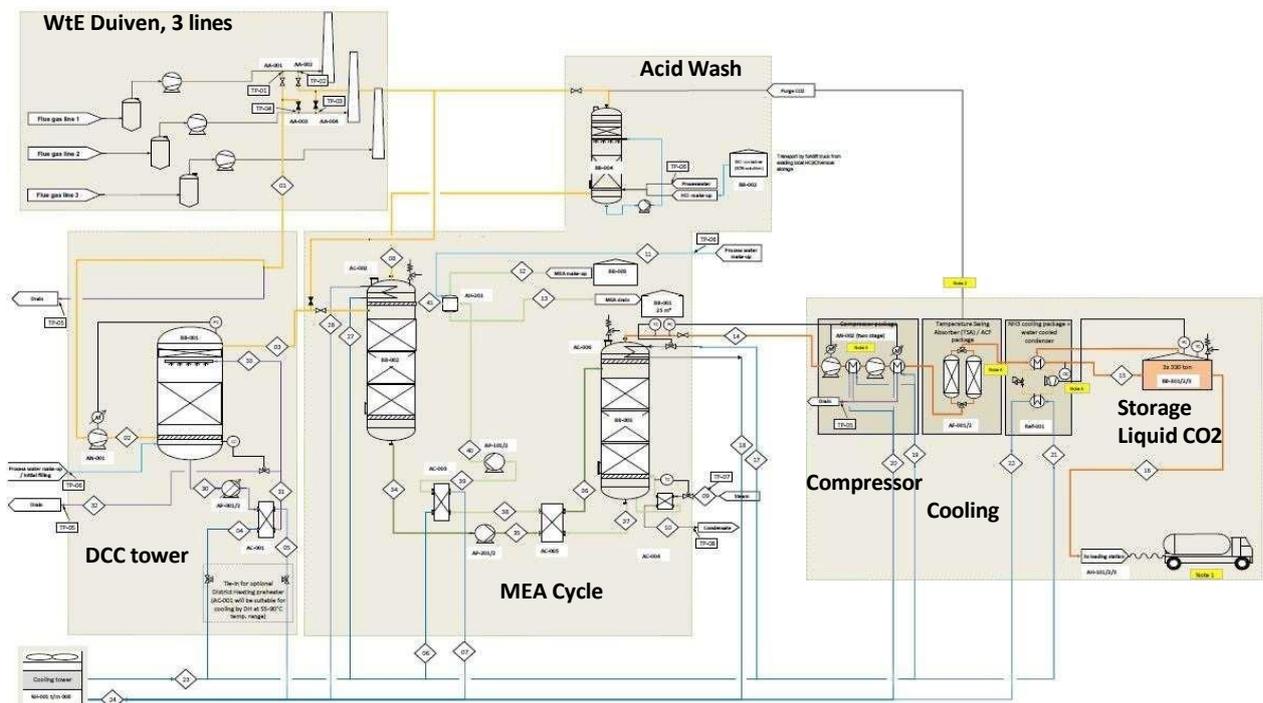


図 6 CO₂ 回収設備フロー

CO₂回収プロセスにおいては吸収液の再生にエネルギーを投入する必要があるが、AVR 社では地域熱需要が低下し、また農業での CO₂ 需要が増加する夏季のみに設備を稼働するという、非常に合理的な運用がなされている。具体的には 3 月下旬から 9 月末までの 6 ヶ月間（≒190 日）運転され、年間 60,000t（2019 年実績）の CO₂ が回収されている。

分離回収した CO₂ は圧縮液化され、車両輸送により 15 km 先の促成栽培農園に売却されている。CO₂ は純度 99.9995% であり、食品（野菜）の栽培に使用しても問題ない品質とのことであった。ただし、ソフトドリンク等への使用については、オランダの法律で CO₂ 原料の提示が求められていることから、組成を把握することが難しい廃棄物由来の CO₂ は現時点では使用が困難とのことであった。

来年以降は CCS としての取組みが開始されるため、冬季を含めた通年での CO₂ 回収運転が予定されている。なお、年間 25 日程度のメンテナンス期間を確保しての通年運転になるとのことであった。

表 5 に CO₂ 回収設備の用役使用量を示す。

表 5 2023^{※1} 年 CO₂ 回収設備用役使用量

項目	単位	年間使用量	原単位 (/tLCO ₂)
CO ₂ 生産量	t	49,361	-
LCO ₂ 販売量 ^{※2}	t	42,920	-
MEA 使用量	kg	255,000	5.17
電力使用量	MWhe	10,677	0.22
熱使用量	GJ	229,696	4.65
その他薬品使用量 ^{※3}	Euro	230,000 (¥33,053,000)	4.66 (¥670)
人件費 ^{※3}	Euro	409,000 (¥58,777,000)	8.29 (¥1,191)
メンテナンスコスト ^{※3}	Euro	623,000 (¥89,531,000)	12.62 (¥1,814)

※1 2022 年のデータと思われるが受領資料に記載のあった 2023 年のままとした。

※2 LCO₂ 販売量はベントロス等により生成量と異なる。

※3 1€=¥143.71（2023 年 2 月 24 日 TTS レート）

	
<p>1. 施設全景</p>	<p>2. 施設模型 (レゴ)</p>
	
<p>3. ごみピット</p>	<p>4. 中央制御室</p>
	
<p>5. 炉前</p>	<p>6. 回転火格子駆動装置</p>
	
<p>7. 前処理塔、吸収塔、再生塔</p>	<p>8. CO₂ 貯蔵タンク</p>

図7 施設写真 (WtE および CO₂ 回収設備)

4. CO₂回収の事業性について

4-1 AVR社の事業概況

ヒアリングにおけるサイトマネージャの話ぶりからは、AVR社の事業運営が順調であることがうかがえた。同社のEBITDAマージンは28%と高く（日本企業の2021年度中央値は8.4%：財務分析マニュアル <https://zaimani.com/>）、同社単体で利益を確保し自社での設備投資が可能とのことであった。

同社の売上要素は①廃棄物処理受託②電力供給③熱供給④CO₂供給であり、それぞれに適正な価格が設定されていることが順調な事業運営を支えているものと考えられる（表6）。また、Duiven処理場のように減価償却が終了していると思われる古いWtEプラントを、安定して稼働させていることも大きく貢献しているものと推測される。

表6 売上要素と単価

項目	平均単価	備考
廃棄物処理費	80 €/t	チップングフィー
電力	100 €/MW	30~180€/MW で変動
熱	15 €/GJ	
CO ₂	60 €/t	エネルギー価格に連動

4-2 CO₂の取引について

廃棄物処理施設にて回収されたCO₂が適正な有価で取引される背景として、オランダ国内では化石燃料由来のCO₂を農業に使用することが、環境負荷を高めるものとして忌避されているからであるとのことであった。農業事業者へのCO₂供給は直接取引ではなく、Air Liquide社を經由して行われており、契約上、最低供給（買取）量5,000t/年が保証されている。また、CO₂の販売価格については現状平均60€/tとなっているが、以下の要因により変動するとのことであった。

要因① CO₂吸収液（MEA：mono ethanol amine）の価格

近年のエネルギー危機により足元のMEA価格は3倍程度まで高騰しているとのこと。

要因② エネルギーの価格

4-3 オランダにおけるCO₂回収の方向性

回収したCO₂を有効利用するいわゆるCCUに関しては、オランダ国内において既に農業における需要（利用先）が飽和しているため今以上の拡大には期待ができず、今後はCCSに注力し北海ガス油田に貯蔵していく計画になっているとのことであった。ただしCO₂の用途拡大策として、焼

却残渣（灰）の建築資材化を目的としたエージング技術についても、現在研究開発が進められているとのことであった。

オランダ政府は、CCSにより廃棄物由来のCO₂を年間2,000,000t貯蔵することを目的とした補助金制度を設立しており、具体的にはCCSを実施する事業者に110~160€/t-CO₂の補助金が支払われるとのことであった。なお、この金額にはCO₂回収以外に輸送コスト（パイプラインの建設費、メンテ費用等）の対価も含まれている。AVR社はこれを受け、新たに年間200,000tのCO₂回収設備を建設中であり、パイプラインの建設事業者等とのコンソーシアムにより本事業に取り組んでいるとのことであった。

4-4 CO₂回収設備の留意点

対応者のMr. Hagemanより、これまでの経験を踏まえたCO₂回収設備の建設・運用におけるアドバイスがあったので紹介する。

① 吸収液（MEA）の劣化

排ガス中の酸性物質（HCl）によりMEAが劣化し、熱交換器に腐食が生じる。MEAの交換頻度については試行錯誤があったが、劣化に応じた部分交換ではなく、ある程度劣化してから全交換する方が、コスト的に有利であるという結論に至った。この問題はCO₂回収で先行する石油化学業界ではなかったことであり、現在、研究機関で改善策を検討している。

② コンプレッサーの仕様

ストリッパー（再生塔）の仕様やMEAの劣化が関連してくるため、コンプレッサーの設計が非常に重要である。

③ 液体CO₂の移送

移送にはポンプを使用するが、低温であるため特別な技術が必要となる。

5. 所感

CCU、CCS とともに回収した CO₂ の出口までが国策として整備され、そこに我が国との大きな差を見た。投資回収の済んだ古い WtE 施設で実施されていることも事業成立の大きな要因になっていると考えられる。Duiven プラント工場長のプレゼンテーションは自信に満ち溢れ、技術の詳細も全く隠す気がない太っ腹なものであったが、それは特別な技術でなく仕組みで勝者となっていることの裏返しと感じた。

Duiven プラントでは、WtE プラントを含め大きな利益を上げており、上手く運営されている一方で、CCU プラントでの MEA の劣化の問題等、先進事例ならではの苦勞もされていると感じた。Mr. Hageman 曰く、「我々のプラントが最初だから苦勞するのは仕方ないが、我々のスタッフが苦勞してきたことを他のプラントで苦勞されずに使われるのは…」と言われていたのが印象的で、スタッフの方々の日々の努力の上にプラント運営が成り立っていることが認識できた。また、オランダでは既に CCU が普及しており、CCS への補助金を出して整備を促す等、政府主導でカーボンニュートラルに取り組んでおり、国としての取り組みに日本とは大きな差があると感じた。

コペンハーゲンの WtE プラントに導入されている CCU 施設は実験的なものであり、「やっぱりヨーロッパもこれからの技術なのかな？」という印象であったが、Duiven プラントでは CCU が完全に実用化されてビジネスとして成立していた。CCU・CCS を進めていくためにはやはり補助金制度の整備や長期的な戦略が必須であり、日本においても企業単位ではなく国としての取り組みを加速させる必要があるように感じた。

出典：

- 1) Rijkswaterstaat Environment “Elements of Dutch waste management”
<https://rwsenvironment.eu/subjects/from-waste-resources/elements-dutch-waste/>
- 2) OECD Data
- 3) CO₂-capture and usage at AVR in Duiven, Liquid CO₂-production for use as Greenhouse fertilizer, AVR. (AVR 社プレゼンテーション資料)
- 4) Annual Report 2021 “SUSTAINABLE CONNECTION” AVR. (AVR 社 2021 年次報告書)