

木質ペレットの安全な貯蔵 自然発火事故の防止、検知、管理

自己発熱暴走に起因する大事故事例と学習点

スポンサー



FutureMetrics LLC



2026年3月12日 東京

FutureMetricsオペレーションエキスパート John Swan



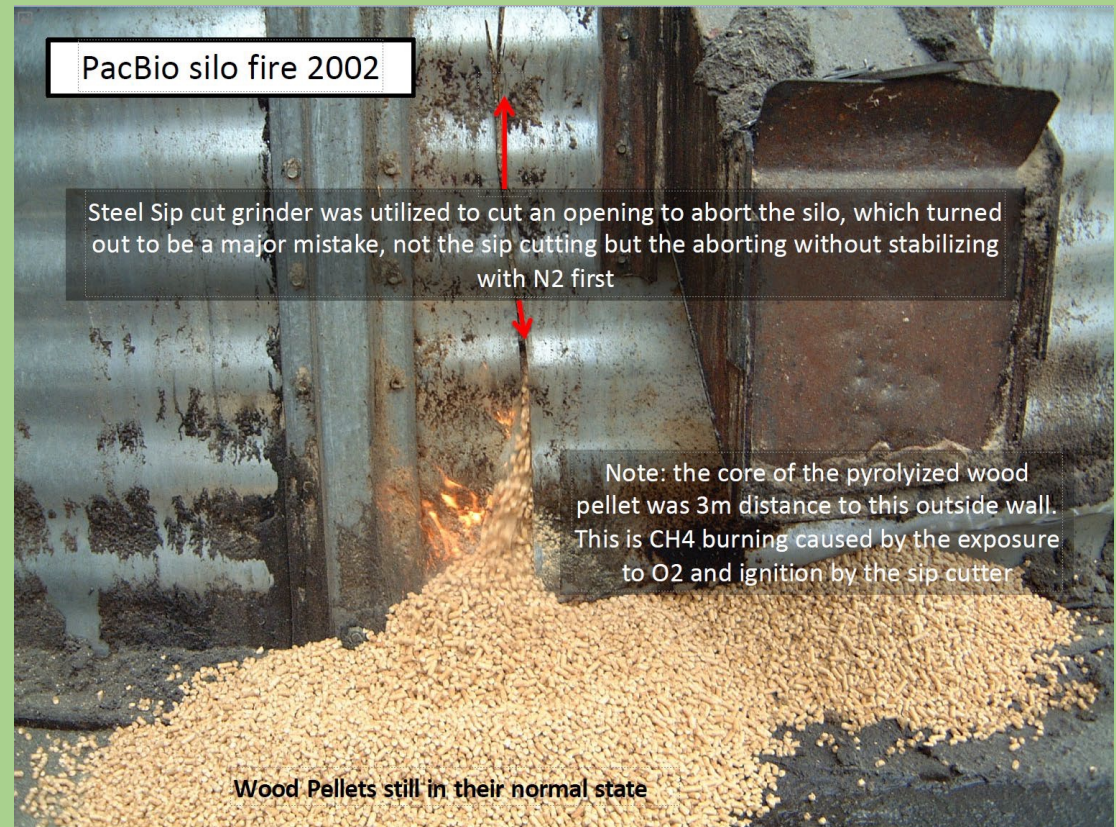
第一号事故 - 2002年

取扱いミス

- サイロ内の通常火災と考えてサイロ搬出を開始。
- 木質ペレットの無炎熱分解で、可燃性ガス(CH₄)が大量発生していたことに気づかず。サイロがスチール製だったため、SiPカットグラインダで開口部を新たに設けようと切削中に小さな炎が発生。
- ペレットを搬出したことで、くすぶっていた塊があらわになり、熱と酸素が与えられ、サイロ内のメタンに着火、サイロ上部が吹き飛んだ。

学習点

- 木質ペレット火災は、サイロや倉庫の搬出作業前に安定させなければならない。



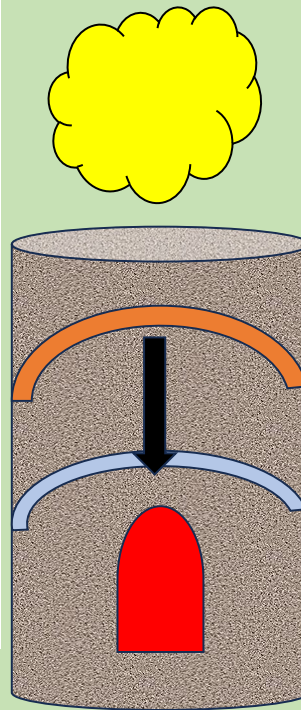
火災原因 - 外部の高熱材料



” 一体全体、爆発の原因は ???

Lesson Learnt

- 無炎燃焼を続けるペレットは熱分解で CH_4 , CO , CO_2 , H_2 など、可燃性ガスを発生。
- ペレットをサイロから搬出して、くすぶっている部分までパイルを下げることで、メタンを放出している無炎燃焼部が酸素に触れることになり、メタンが着火して爆発に至った。
- ペレットはくすぶると互いに固着して塊となるため、サイロの搬出時に、ブリッジを形成したり詰まったりする。





「くすぶる木質ペレットを安定化させる前にサイロ搬出を行ったがゆえの結末」





“2度目” – 2017

学習点を活用

- ペレット火災事故のベストプラクティスは、サイロを安全に払い出すには、ペレットの無炎熱分解を窒素注入で安定させることが最も効果的であるとする。人員とサイロならびに周囲の施設の危険性を最小限に留める。
- N₂ 注入の絶対量と流量は算定されていて、確認されている。
- 酸素を制限し、窒素をサイロの上部空間に注入すると有効であることが立証されている。高密度の泡消火剤スプレーでサイロ頂部からの窒素消失を補うことで、火災の可能性に対応するオプションとなっている。

火災原因 – 自然発熱と推定



2017年PacBioサイロ火災

スエーデンの研究成果に従ったおかげで安全であった。人身被害はなく、施設の損失もなかった。

Daigas事例研究:
袖ヶ浦バイオマス発電所のサイロ火災

Daigas ガスアンドパワーソリューション株式会社
FutureMetrics, LLC.

1. 袖ヶ浦バイオマス発電所概要
2. 貯蔵サイトの施設情報
3. 事故と対応
4. 推定原因と対策
5. まとめ

1. 袖ヶ浦バイオマス発電所概要

2. 貯蔵サイトの施設情報

3. 事故と対応

4. 推定原因と対策

5. まとめ

1. 袖ヶ浦バイオマス発電所の概要

袖ヶ浦バイオマス発電所概要

- 千葉県袖ヶ浦市所在の発電所、2025年7月より稼働
- 出力 75 MW
- ペレット貯蔵サイトは発電所から少し離れている

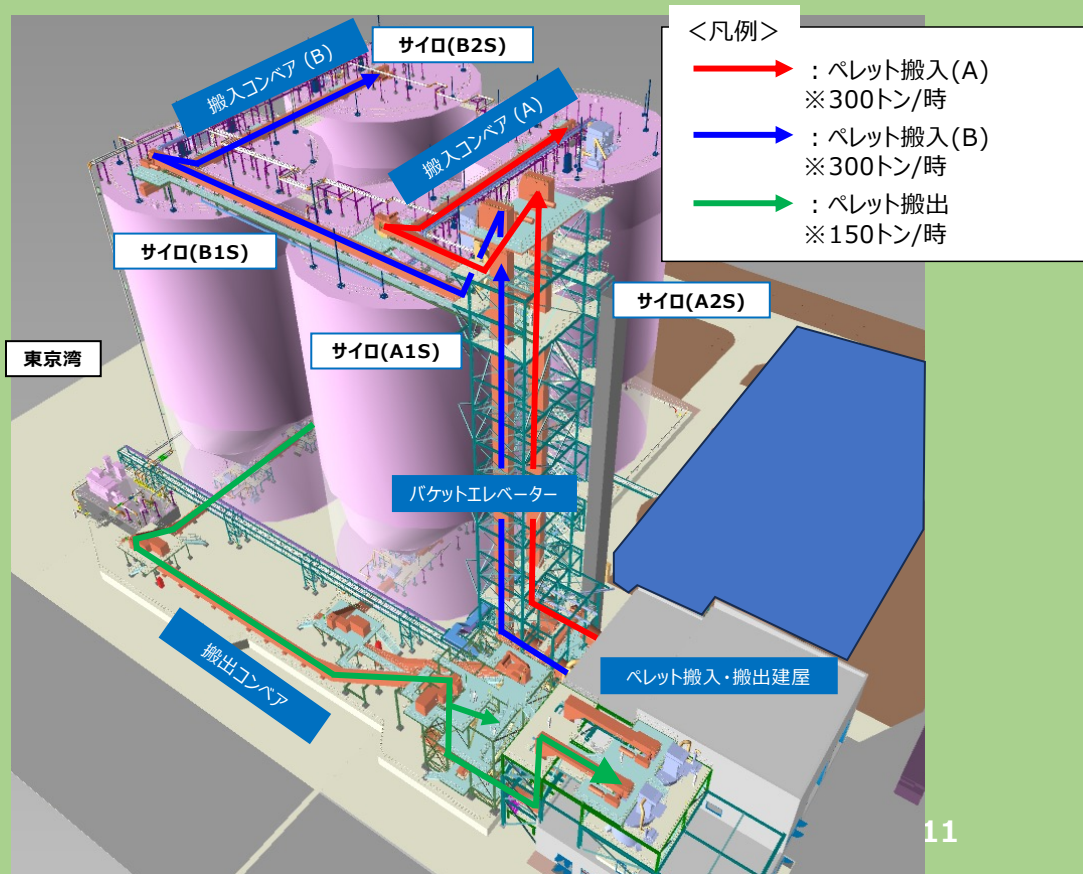
会社 (運営業者)	袖ヶ浦バイオマス発電株式会社 (SBP) (Daigas グループ)	
本社所在地	日本、大阪市	
出資者	Daigas G&P ソリューション株式会社 100%	
発電所	運転開始	2025年7月
	所在地	千葉県袖ヶ浦市
	敷地面積	約 30,000㎡
	出力	75 MW
	ボイラー	循環流動床 (CFB)
	タービン	再熱凝縮タービン
	燃料	木質ペレット 100% (約300 キロトン/年)
冷却法	工業水を用いて冷却塔	
ペレット貯蔵施設	所在地	千葉県袖ヶ浦市
	収容能力	最大 40,000 トン (10,000 トン × 4 サイト)
	敷地面積	約 9,000㎡
	施設	外洋船用岸壁、サイロ (複数)



Agenda

1. 袖ヶ浦バイオマス発電所概要
2. 貯蔵サイトの施設情報
3. 事故と対応
4. 推定原因と対策
5. まとめ

貯蔵サイト概要



SBP 貯蔵サイト概要	
運転開始	2022年7月
貯蔵燃料	ホワイトウッドペレット
サイロ仕様	コンクリート造サイロ：4 基 容量：サイロ当たり10,000トン(およそ15,000m ³) 径：25.1m; 高さ：46.5m
コンベヤ	①搬入; 2 系統 (最大300 t/時) ②搬出; 2 系統 (Max. 150 t/h)
その他	ペレット受入れ/払出し建屋 N ₂ 供給ノズル(ペレット消防用) 消火設備 (水スプレー、屋外消火栓)



ペレット受入れ口

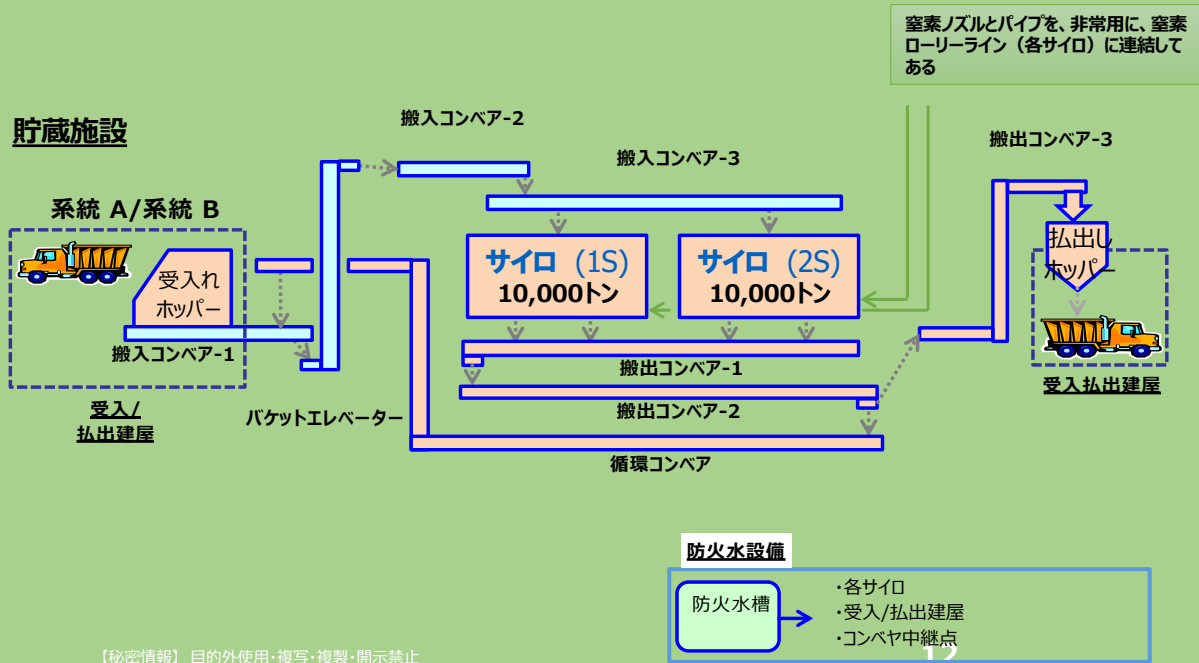


ペレット払出し口

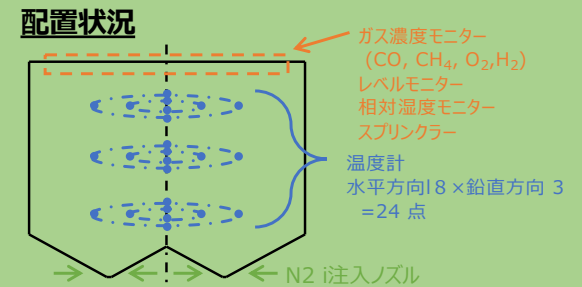
2. 貯蔵サイトの施設情報

設備構成

- 非常時の窒素供給用として、各サイロに窒素ローリーラインが恒久的に設置されている
- 各サイロ、コンベア中継エリア、倉庫建屋に散水できる消火システム
- 貯蔵ペレットに異常が検出されたときに、ペレット循環コンベア運転が可能
- サイロでは、貯蔵ペレットの状態をガス濃度と温度計で監視



サイロ仕様	収容能力 : 10,000トン ×4 径 : 25m, 高さ : 46.5m
計器類 防火設備	温度計 ガス濃度モニター N2 注入ノズル (複数) スプリンクラー (サイロ等)



【秘密情報】 目的外使用・複写・複製・開示禁止

貯蔵サイトにおける防止対策の特徴

- 消火設備：消防条例準拠、ならびに地元消防局に相談

- サイロ火災防止 (*Silo Fires*)

1. 窒素ライン設置
2. モニター機器 (温度計、ガス検知器) 恒久的に設置
3. サイロ内換気
4. 循環コンベヤラインの建設

- コンベア内の粉塵爆発と火花の対応準備

1. コンベヤスピードと微粉蓄積を考慮

➡ チェーン式コンベアを採用



<https://www.msb.se/sv/Produkter--tjanster/Publikationer/Publikationer-fran-MSB/Silo-fires-fire-extinguishing-and-preventive-and-preparatory-measures/>

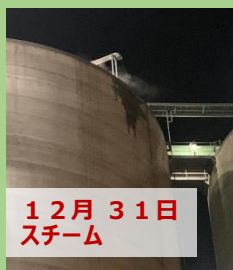
Agenda

1. 袖ヶ浦バイオマス発電所概要
2. 貯蔵サイトの施設情報
- 3. 事故と対応**
4. 推定原因と対策
5. まとめ

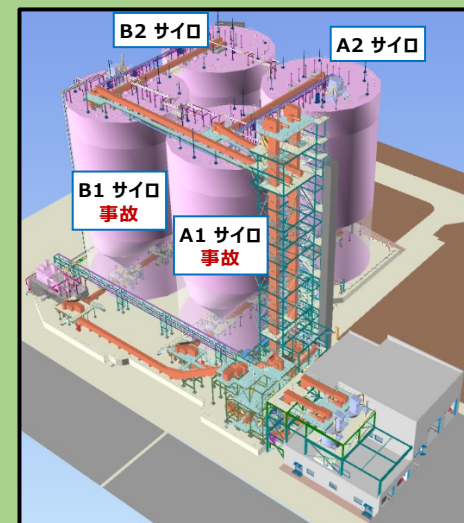
3. 事故と対応

事故の概要

サイロ4基のうち、A1 とB1 サイロから白煙を観察



日付	時間	事象
2022年12月31日	8:58	A1サイロのガス濃度異常を検知
	夜	A1サイロからスチームが出ているのを観察
2023年1月1日	午前	窒素ローリーを手配.
	12:30	A1サイロに窒素注入開始
	22:00	窒素注入を停止
	22:12	A1サイロから白煙が出ているのを観察
	22:31	消防に通報
2023年1月2日	夜中	A1サイロ内に散水スプレー
	朝	A1サイロに窒素注入を継続



2023年1月

無煙火災の経緯

● 2022年12月31日にガス濃度が突然上昇

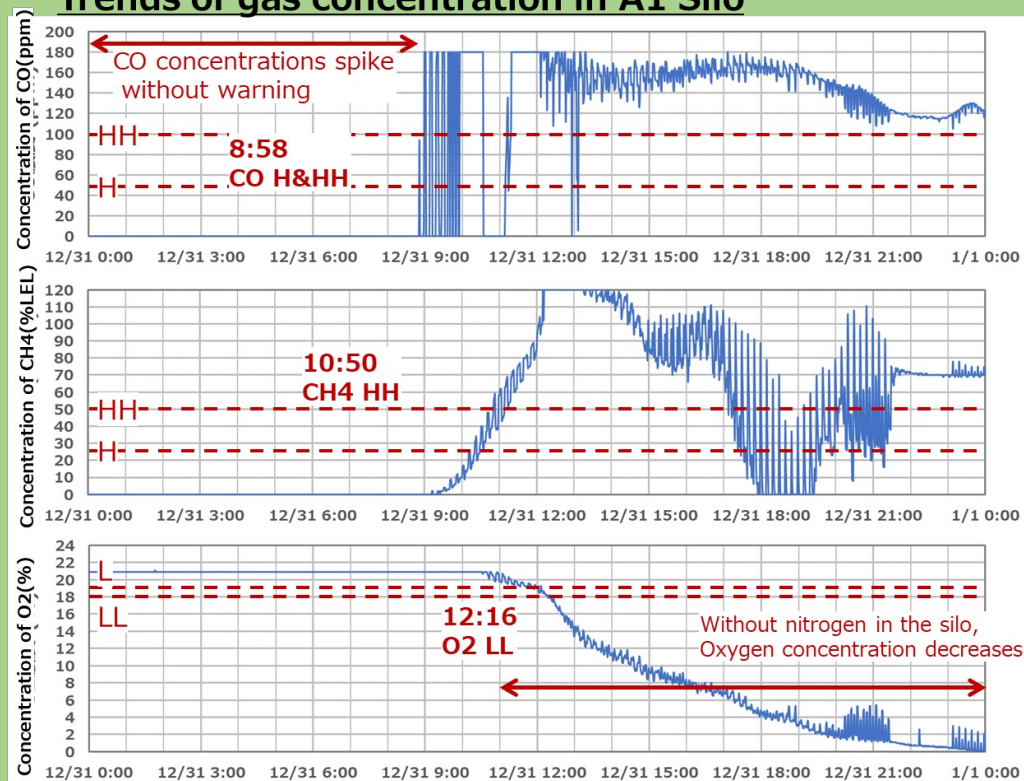
- ・ 発電所の立ち上げ上の問題でサイロで木質ペレットの貯蔵が6カ月に及んでいた。
- ・ サイロ内の温度とガス濃度の監視は継続していた。
- ・ 一酸化炭素濃度を下げるために連続換気を実施していた。



- ・ 突然、2022年12月31日にガス濃度が上昇。
- ・ サイロ内温度は平常であった。

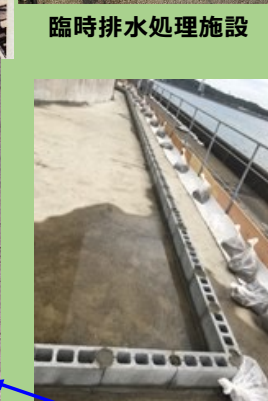
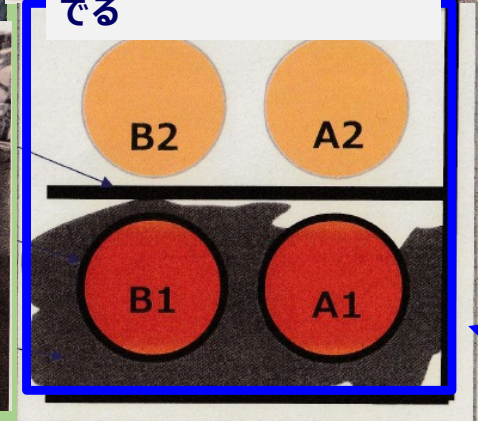
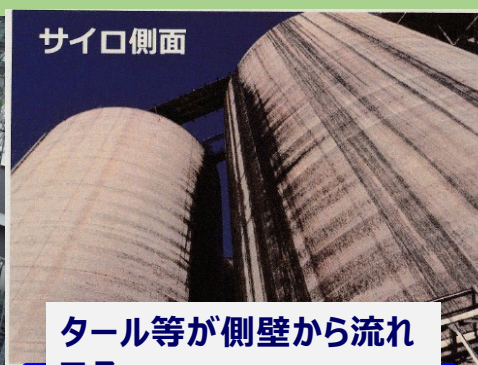
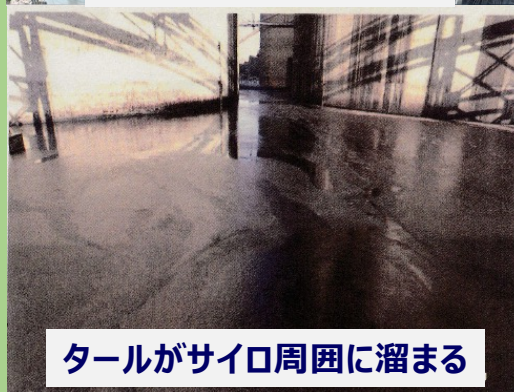
【秘密情報】 目的外使用・複写・複製・開示禁止

Trends of gas concentration in A1 Silo



火災後のサイロ

- A1 と B1 サイロの頂部から白煙が出て、タールが当該頂部と壁体、さらに周辺に付着し、悪臭を発生した。また、サイロ周囲の一酸化炭素濃度が高くなり、消火活動を大きく妨げた



窒素注入による消火活動

- 定点カメラとサーマルカメラを使ってサイロの内部状況をチェック

◎ 定点カメラ



1月6日

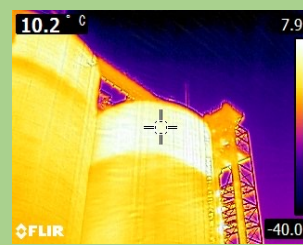
◎ サーマルカメラ



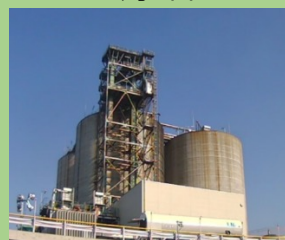
1月13日



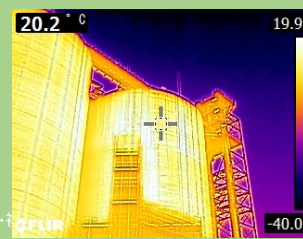
2月5日



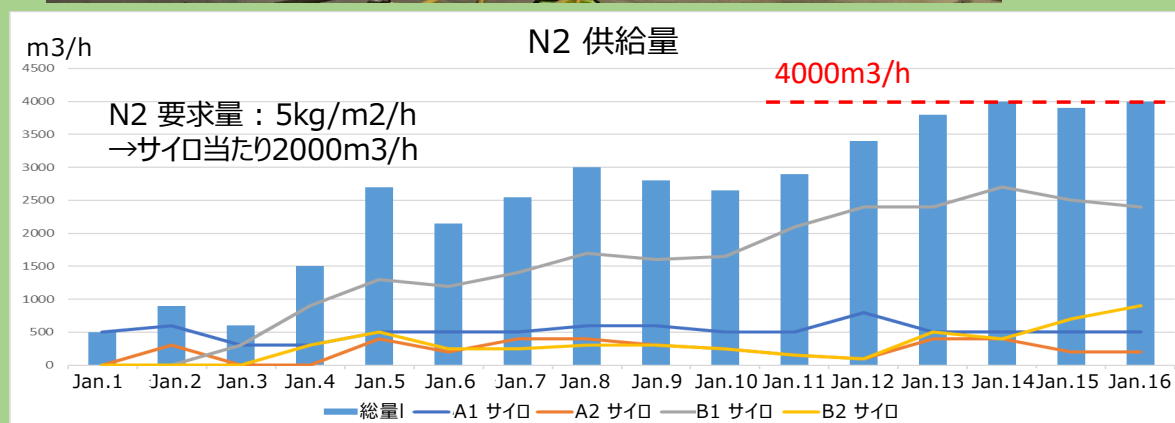
2月5日



3月8日



3月8日



5月 1日 鎮火宣言

- 5月1日11:00 a.m.、袖ヶ浦市消防本部長が当該貯蔵サイトに立ち入り検査を行い、鎮火を宣言した。
- 消防法第29条における緊急措置が解除された。



消防本部長による検査と鎮火宣言

消防法第二十九条（日本法）

消防職員もしくは消防隊員は、消火、延焼防止、または人命救助のために必要な場合は、消火活動の対象である建物器物、ならびに当該物が所在する土地もしくは火災が発生しそうか発生している土地を使用、処分、使用の制限を行うことができる。

サイロの白煙確認から鎮火宣言まで4カ月を要した。

【秘密情報】 目的外使用・複写・複製・開示禁止

Agenda

1. 袖ヶ浦バイオマス発電所概要
2. 貯蔵サイトの施設情報
3. 事故と対応
- 4. 推定原因と対策**
5. まとめ

当該サイロ火災の推定原因と課題

- 当該サイロ火災の原因を様々な観点から分析
- 原因の可能性としては、木質ペレットの自然発熱、発酵、外部の着火源、粉塵爆発等がある
- さらに調査と分析を進めた結果、火災の原因として以下が考えられた。詳細をこれからのスライドで説明

◆ 貯蔵中の木質ペレットの自然発火

◆ 長期貯蔵に関する運営規則における課題

- 消防活動における我々の経験から、施設設備と管理の面で気づいたことをご紹介します。

木質ペレットの自然燃焼機序 (一般論)

湿った空気の流入や結露によって、木質ペレット貯蔵中に局所的な水分濃度の上昇があると、微生物による発酵から熱が発生する。こうしたペレットが貯蔵されていて、自然酸化によってさらに熱が発生し、発火に至ったと考えられる。

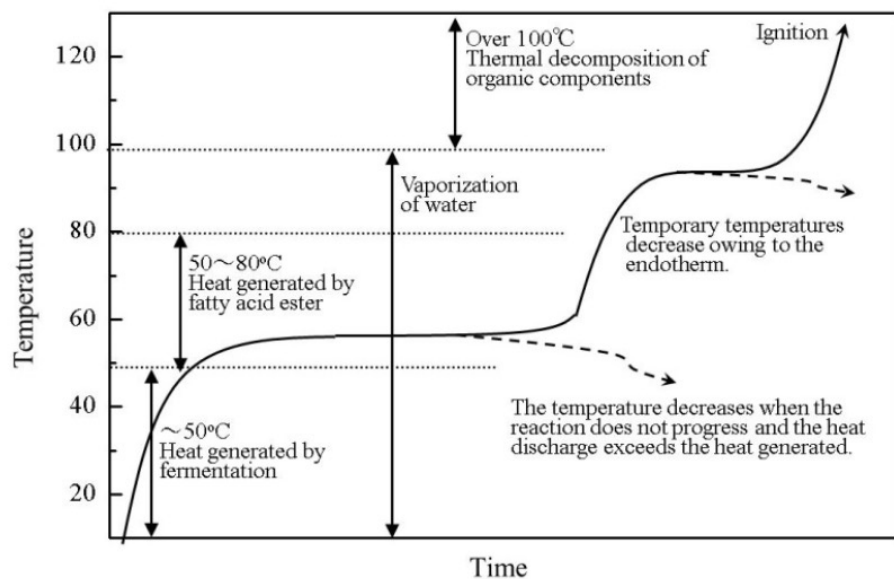


Figure 16. Combustion mechanism of biomass fuels.

*出典：村沢直治、古積博

Investigation of Heat Generation from biomass fuels, Energies 2015, 8, 5143-5158

22

自然発熱は以下由来の可能性

- 生物学的代謝反応
- 発熱性化学反応
- 発熱性理学的プロセス
(例 水分吸収)



<分析No.1>
サイロ内の水分の作用と挙動の分析

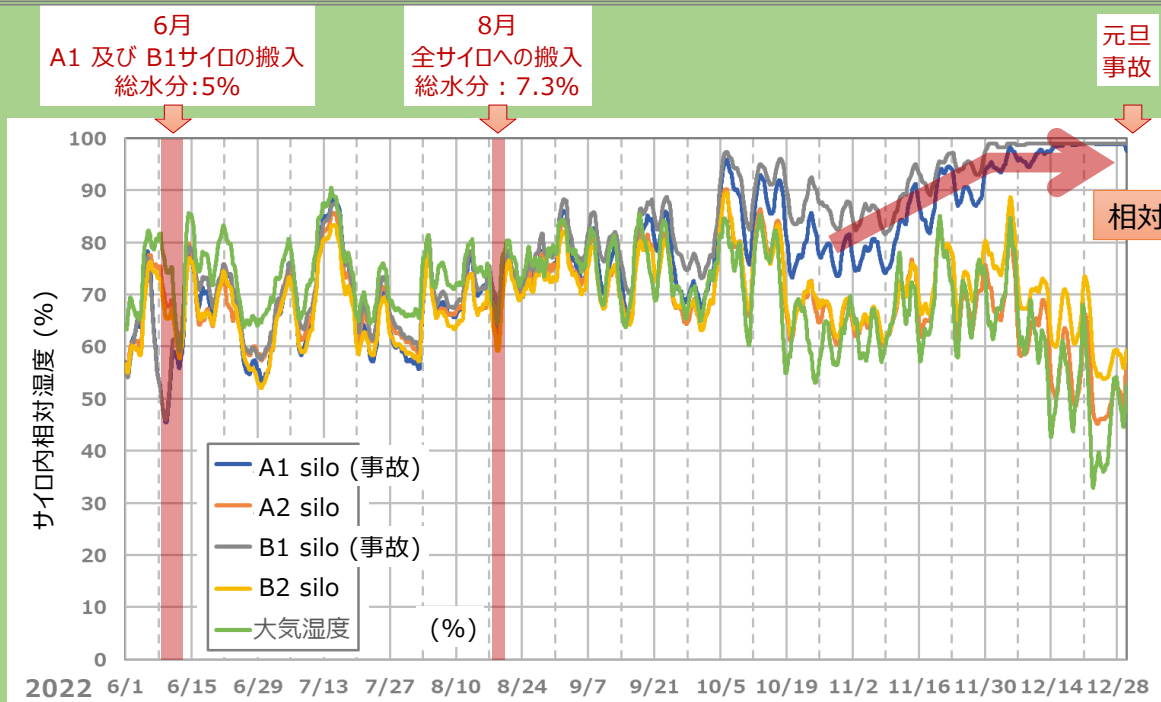
サイロ内の水分履歴

◆ペレット搬入時

雨天ではペレットの搬入を中止 → 搬入設備からサイロ内への外部水分の侵入を防止

◆ペレット貯蔵中

外部から水分の侵入の兆候なし → サイロ内の木質ペレットの自然発熱が原因となって湿度が上昇



<分析NO.2>
ISOの方式による自己発熱の評価

相対湿度が事故サイロ二基のみで上昇

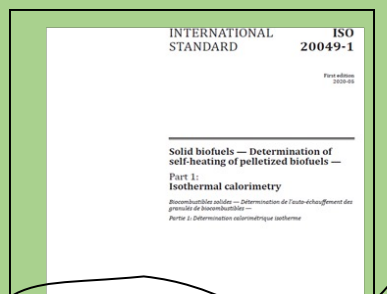
中：ガス濃度とバルク温度では事故となるまで異常値を検知せず

試験結果：木質ペレットの自己発熱特性

- ISOに基づいて木質ペレットの自己発熱特性を評価、低温域において行ったこれまでの所見の値より一桁から二桁大きいことが確認された。
- 製造まもない木質ペレットの自然発熱特性は、貯蔵ペレット(熟成ペレット)よりも高いことを確認。

ISO 20049-1 固定バイオ燃料

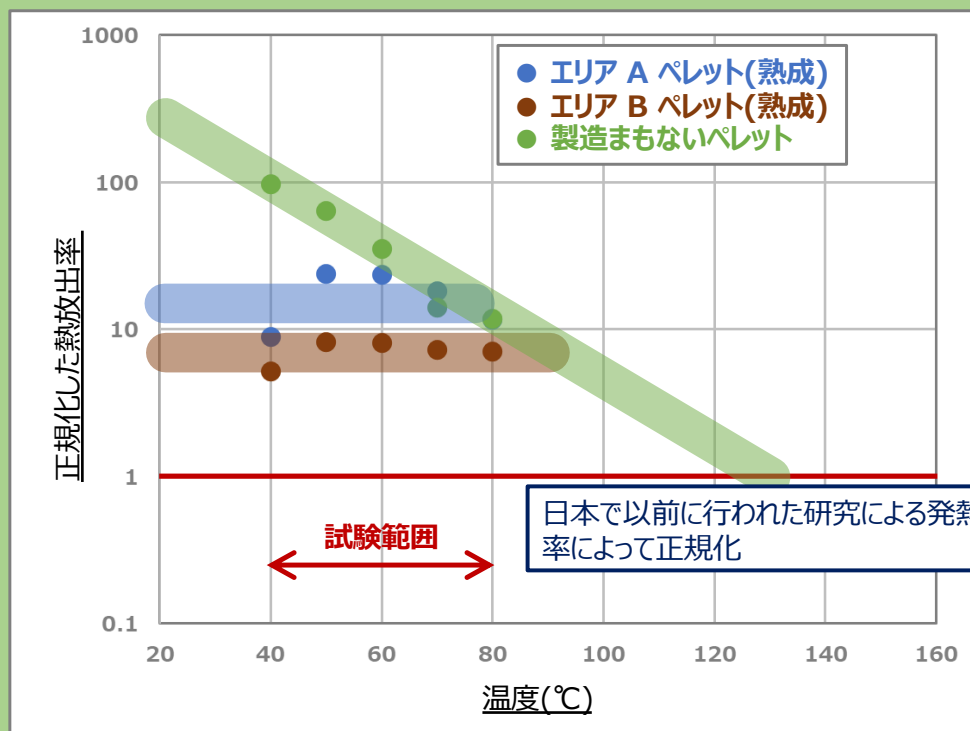
- ペレット化されたバイオ燃料の自己発熱の測定 -



試験装置
(等温熱量測定)

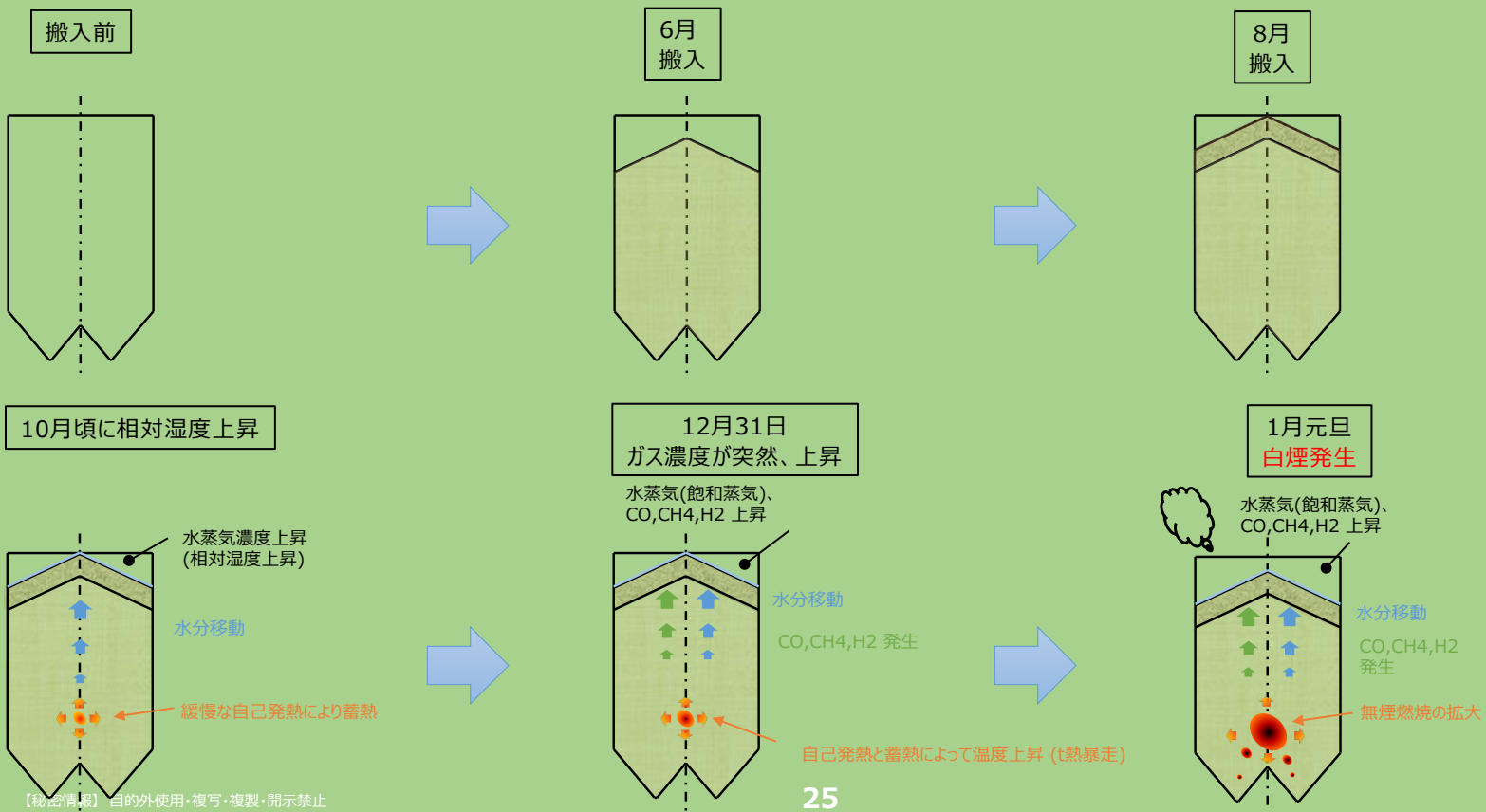


【秘密情報】 目的外使用・複写・複製・開示禁止



日本で以前に行われた研究による発熱率によって正規化

推定される無煙燃焼機序



【秘密情報】 目的外使用・複写・複製・開示禁止

サイロ火災の推定原因と対策

サイロ火災の推定原因

- 貯蔵ペレットの自然発熱
- 長期貯蔵の運営規則上の課題

対策

- サイロの運営戦略を改定
- 窒素製造設備の設置

サイロ運営戦略

<火災前>

基本概念	方法	異常時の対応
状況監視	1. 温度、ガス濃度の常時監視	1. 換気 2. ペレットを循環させて冷却 3. 窒素ローリーを使って、サイロ内に窒素注入 4. サイロ内に水を散布（最後の手段）

<火災後>

時間管理	1. 貯蔵時間管理 2. 温度、ガス濃度、湿度 の監視の補完的活用	1. 一定期間貯蔵するときには、温度上昇を抑えるために、窒素を供給 2. 貯蔵が所定期間を超えるときは、循環作業を開始 3. 監視中の値に異常が検知されたら、サイロ内空気の窒素置換を実施する
------	--------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------

【秘密情報】 目的外使用、複写、複製、開示禁止

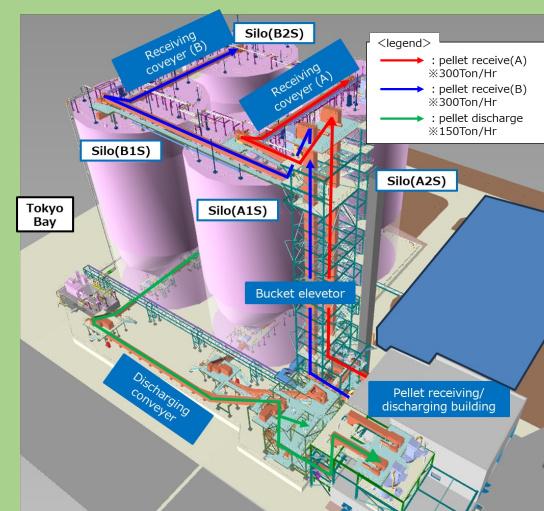
火災の経験知から、設備等の問題点が判明

No.	問題点	改善方法
1	<ul style="list-style-type: none"> サイロ火災は、大量の窒素をただちに必要とする 	<ul style="list-style-type: none"> サイトに窒素製造設備を恒久的に設置 近隣に窒素供給システムの存在を確認 (ローリーによるチャージステーション、臨時蒸発器、窒素用ホース、連結手段)
2	<ul style="list-style-type: none"> サイロ周辺に高濃度のCO (現場に近づくことが困難) 	<ul style="list-style-type: none"> 非常時に使う必要のあるバルブその他機材の配置整理と自動化 サイロの気密性の改善 可搬式ガス検知器の配備 SCBA (自給式呼吸装置)の配置
3	<ul style="list-style-type: none"> サイロ頂部の重要機器の配置状況 	<ul style="list-style-type: none"> 重要機器の配置変更
4	<ul style="list-style-type: none"> サイロ内のガス検知器の仕様 	<ul style="list-style-type: none"> 検出範囲が複数のガス分析器の採用 酸素濃度によって影響を受けないガス分析方法への変更 (窒素注入時には酸素濃度が下がる)
5	<ul style="list-style-type: none"> タールと排水の流出防止 	<ul style="list-style-type: none"> サイロエリアの集水方法の見直し (外部への流出防止) タール含有廃水の処理の準備体制構築

【秘密情報】 目的外使用・複写・複製・開示禁止

27

俯瞰図



内容

1. 袖ヶ浦バイオマス発電所概要
2. 貯蔵サイトと施設情報
3. 事故と対応
4. 推定原因と対策
5. **まとめ**

まとめ：これまでの活動とメッセージ

- 2023年1月から4月 消火活動
- 2023年5月 - 2024年4月 火災原因となるペレットの払出し
- 2024年5月 - 2025年6月 安全対策と修復作業

貯蔵サイトの活動

	2023												2024												2025																	
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.												
Event	事故			鎮火			ペレットの払出し完了												仮運転開始						本格運転再開																	
Fire Fighting	■																																									
Pellet Discharge					■																																					
Execution of Safety Measure																	■																									

事故があると、運転再開までかなり時間がかかることをお伝えしたい。

【秘密情報】 目的外使用・複写・複製・開示禁止

- 有難うございました -