

安全な木質ペレット貯蔵

2026年3月12日

サイロガード
SiloGuard — 基本概念

火災と粉塵爆発を
いかに防ぐか
予測、防止、防護

Who am I?

Håkan Johansson
部門長 – シニアアドバイザー

Firefly社勤続23年

様々な加工産業、木質ペレット、木質パネル、バイオマス等で火災事故調査に携わる

先進的な防火ソリューションの開発を行う

連絡先

携帯: +46 70 588 83 77

hakan.johansson@firefly.se



Firefly 会社案内

- Firefly AB – 1973年設立、スウェーデンの企業グループ
- 革新的なソリューションとハイテクな防火システムの開発が事業の柱
- スパーク検出と迅速消火システムの開発のリーダー
- ナスダック・ストックホルム証券取引所の NASDAQ First Northに上場
- 本社はストックホルム。子会社が米国、ポーランド、イタリア。
- 代理店と販売店を世界展開
- 全大陸に複数のサービスセンター
- 90 カ国以上に顧客先
- 世界で 22 000 以上の防火システムを展開





産業用防火システム



木工



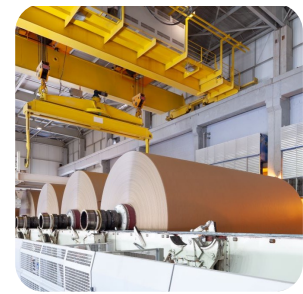
木質パネル



衛生



発電



紙パルプ



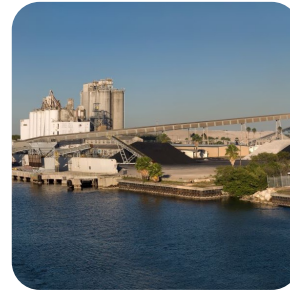
ティッシュ



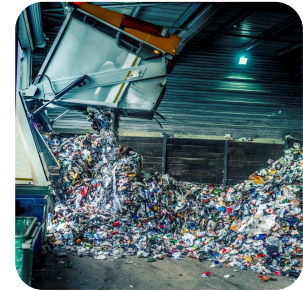
食品



バイオエネルギー



港湾



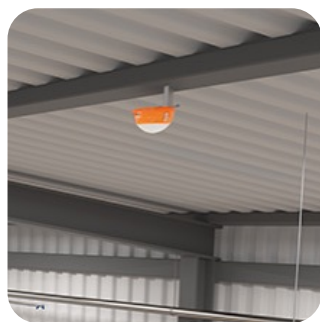
リサイクル

Fireflyが護る大手企業の一例

予測、防止、防護のための防火システム

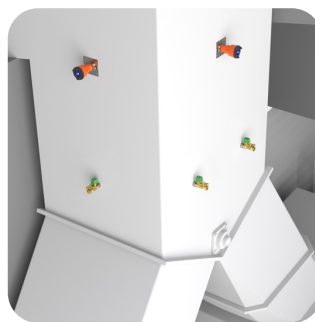
Firefly は、機械単体はもちろん、フィルターに始まってサイロまで、あらゆるものを防護する完全なソリューションを提供



予測

着火源が発見される前であっても、装置や工程中の問題を同定

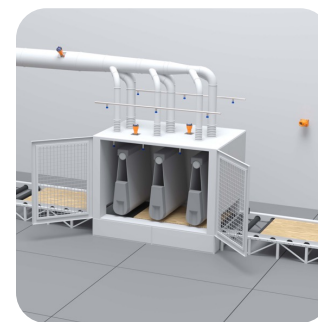
**MGD - 電子ノーズ式
ガス監視・温度監視
IR-トレンドモニター**



防止

火災や爆発が発生する前に、着火源を検出し消火

スパーク検知システム



防護

炎/火災の迅速な検知と消火活動

**迅速消火システム
急速水噴霧設備**

製品性能規格ならびに 用途関連の安全規格に適合

- Firefly ソリューションは、グローバルな安全規格に適合するように設計
- 管理システムの枠組み (ISO 9001, IEC 80079-34)
- 認定されている製品性能規格 (FM 3265, FM 3260, VdS 2518, IEC 61010-1, IEC 60079 series, EN 50130-4)
- 主要用途別規格 (**EN ISO 20024***, EN 14972, NFPA 750, NFPA 660等)

* EN ISO 20024 固体バイオ燃料 – 商業用及び産業用固体バイオ燃料ペレットの安全な取扱いと貯蔵



バイオ燃料貯蔵の 火災リスク





統計的に業界の大損失事故10件のうち
8件は火災が原因



ところが、業界にとって一番痛いのはこ
うした大事故ではなく

小さな事故が多発する方が損失が積みあ
がりダメージが大きい。



なぜ？



バイオマス貯蔵の火災リスクファクター

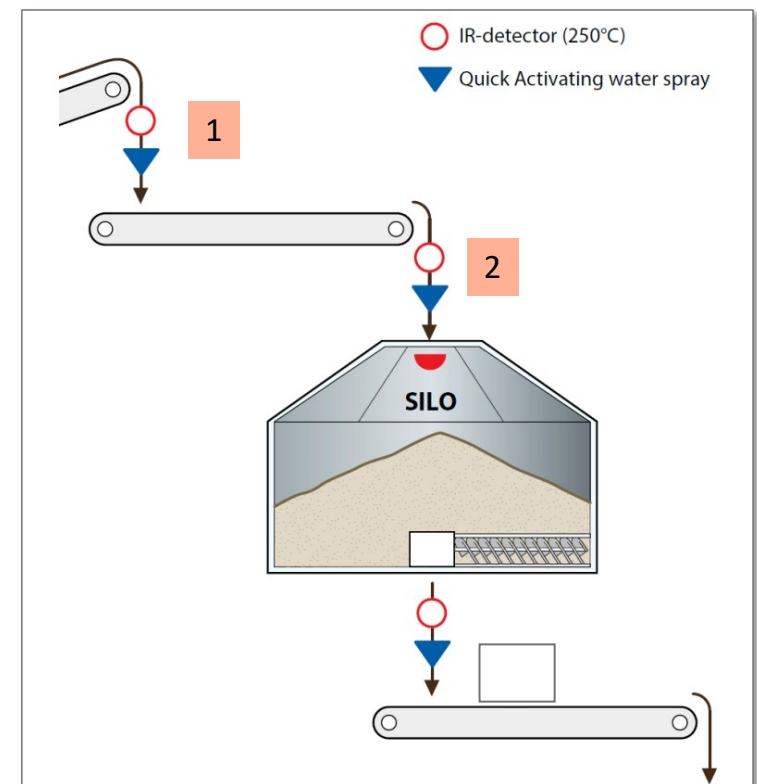
- 原料受入れ時に着火源も一緒に到着
- 搬入システム、コンベヤ、ボルト類その他の機械的な不具合
- 自然燃焼/自然発火
- 貯蔵の払出設備の機械的な不具合



着火源の混入した原料を受入れ、または搬入設備に不具合

- 木質ペレット、フレーク（木屑）等、バイオ燃料の大半で、LIT（粉塵層発火温度）がおよそ260-270°C。
- 検知装置の検出温度がLITより低いことを確認。
- 消火水がサイロに侵入しないようにする。
 - 1の場所が望ましいが、無理であれば2でもよい

注： 1の場所であれば、消火設備が動作したときに下流側ベルトコンベヤを逆に回し、濡れたペレットを除去できる。貯蔵サイロ内に加水すると自然発火のリスクが高まる。



自然発火 / 自然燃焼

- 自然発火は複雑であり、発火に至る過程では検知が難しく、消火に至っては非常に困難。
- サイロ火災には特殊な知見が必要であり、消防隊員の標準的な訓練以上の知識が必要な場合が多い。
- 早期に自然発火を発見し安全に消火するための実証されている知識と技術が存在する。



自然発火に関連するパラメータ

- 含水率
 - 含水率が高いほど微生物の活性が高くなり酸化が進む。両方とも発熱を伴う。
- バイオマスの種類と組成
 - バージン材は、酸化が高くなるため、熱の蓄積が早い。
 - 微粉成分。微粉率が高いほど、粉塵爆発のリスクが高まる。
- 通気と酸素の可用量
 - バイオマスの微生物による酸化と化学作用による酸化は酸素濃度が低くても始まる。酸素濃度 >5%でも可能。



自然発火 – 微生物活性から火災へ

1. 微生物活性 (発熱開始段階)

- ✓ 熱、CO₂、水分が発生
- ✓ 温度が ~30-70°Cから上昇
- ✓ 時間: 数日間、通気不良の場合はもっと長くかかりうる



2. 化学的な酸化 (自己発熱段階)

- ✓ 温度が 70–80°Cを超えると、微生物は死滅
- ✓ 放熱できないと発熱は加速化する。大規模バイオマス貯蔵で発生しがち
- ✓ 温度が ~150-200°C
- ✓ 気体として CO, CO₂, H₂O, CH₄, VOCが発生



自然発火 - 微生物活性から火災へ

3. 熱分解

- ✓ 200-300°Cくらいでバイオマスは炎なしに熱劣化を開始
- ✓ 以下が発生
 - ✓ 可燃性ガス (CO, CH₄, VOC)
 - ✓ 木炭
 - ✓ タール

4. 発火 / 火災

- ✓ 局所的に温度が ~270-280°C となり、酸素が存在すると自然発火
- ✓ 無煙火災がバイオマスの奥深部で発生する可能性
- ✓ 当初はゆっくりと進行
- ✓ 無煙燃焼部がサイロの搬出口に達すると、酸素濃度が高い(21%)ためにただちに火を出す。微粉が存在すると粉塵爆発の危険性が高い



VOCは揮発性有機化合物の略。VOCとは室温で高い蒸気圧を持つ有機化学物質であり、蒸気しやすい。バイオマスと燃焼において、VOCは微生物活性、化学的酸化、熱分解で放出される。(木質ペレットやチップ等)バイオマスの熱分解段階と自然発熱段階では、ホルムアルデヒド、酢酸、メタノール、テルペン、トルエン、ベンゼン等が放出される。多くのVOCが高い引火性であり、空気と爆発性混合気を形成する可能性があり、サイロの払出時には非常に高い危険性が存在する。

自然発火 – 微生物活性から火災へ

時系列一例

(貯蔵条件がよくない場合)

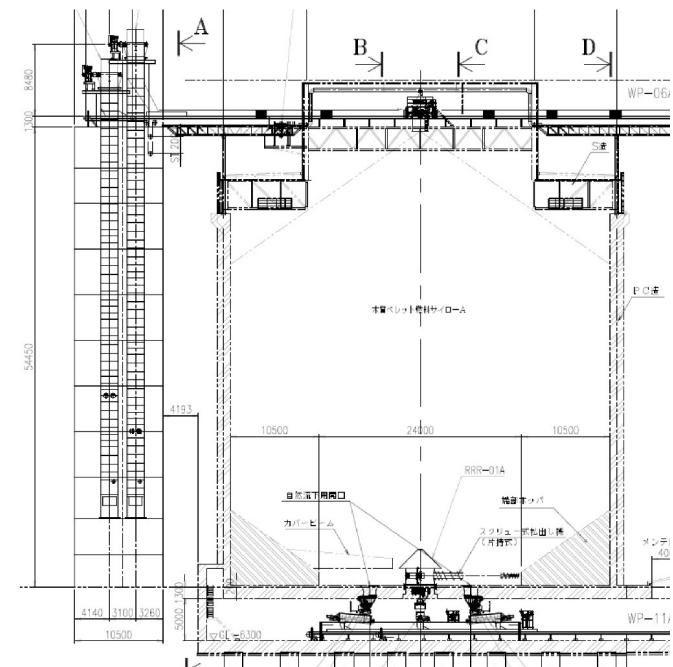
- 1-3日目: 微生物による発熱始まる
- 4-10日目: 温度が 80-100°Cに上昇
- 10-20+日目: 化学酸化によって中心部温度が >150°Cに上昇
- ~20 日目以後: 熱分解によるガスが発生、発火リスク高となる



注: これは例にすぎず、通常はもっと時間がかかる

解決策

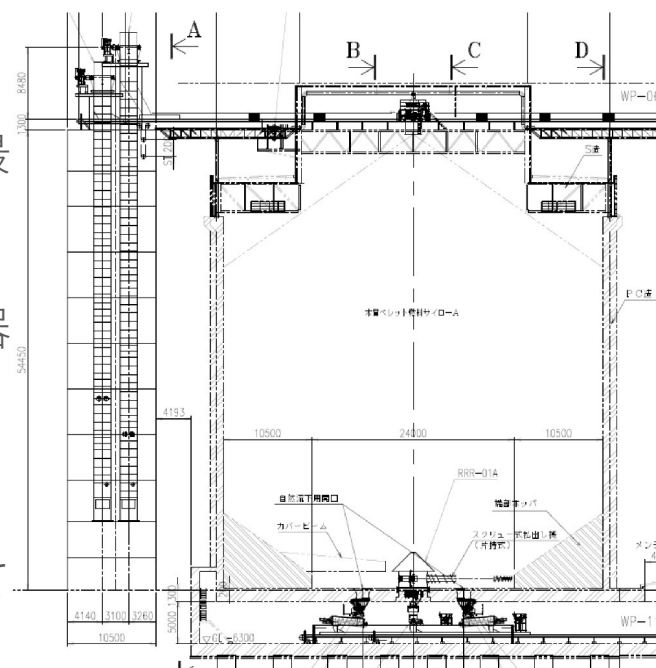
- 信頼性の高いガス検知システム
- 冗長性
- サイロ底部からの窒素注入設備
- インライン 3D スキャナー



解決策

サイロ底部に窒素注入設備

- 研究、経験、実大試験によれば、窒素が最も過不足のない消火媒体
- サイロ内で発生した可燃性ガスを計測機器の設置されているサイロ上部へ「押し出す」役目も(無煙火災の早期発見)
- 木質ペレットサイロでは絶対に水を使ってはならない。悲惨な結果となりうる

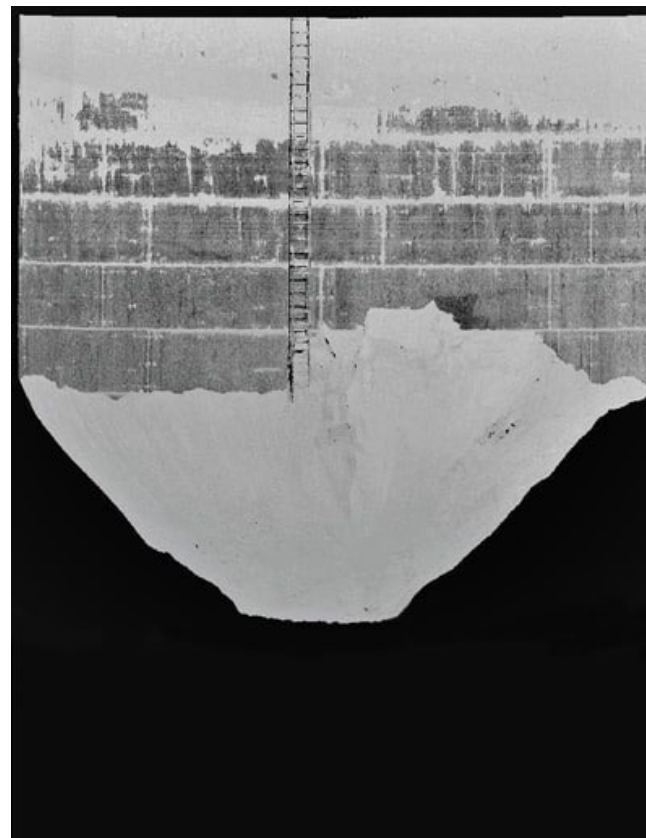


解決策

インライン 3D スキャナー

- サイロ天部に 3D スキャナーを設置して、均一高さでサイロの搬出が行われるようにする
- 「ブリッジ」発生を避ける。サイロ内部を知悉しておく
- 無煙火災はペレット/フレークに水分を放出させ、そのために「ブリッジ」が発生
- 溶けた木質ペレットの塊がブリッジ。ときには何百トンもの重さとなる。それがどこかの時点で落下すると悲惨な事故につながりうる

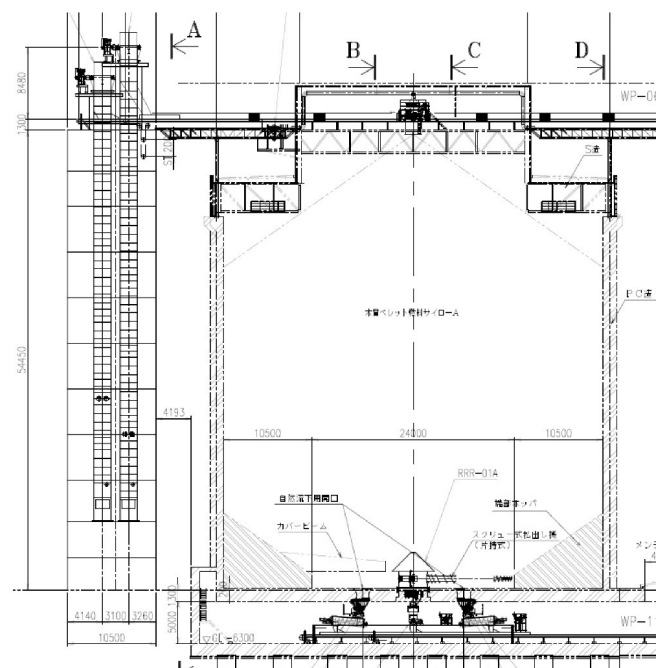
注: 小さなものは自然発火を引き起こしうる。1-2m³ 程度で十分に発火可能。



解決策

高信頼性の検知システム

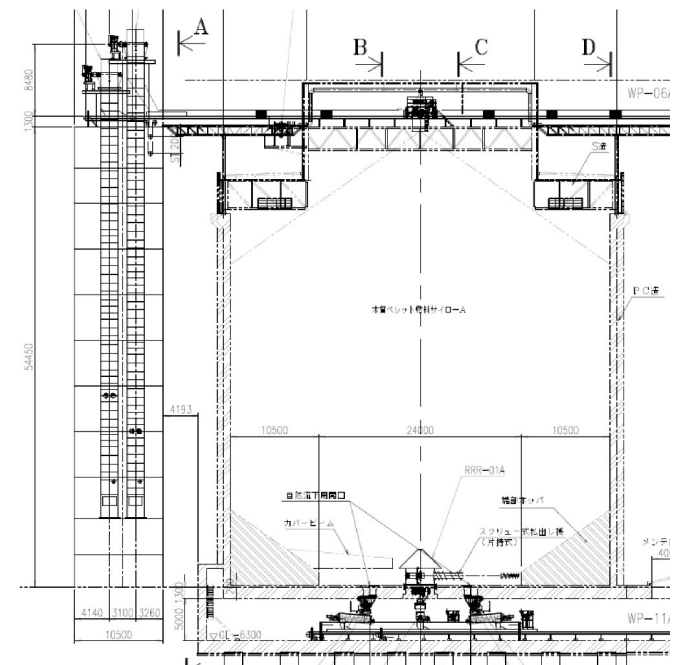
- どのセンサも二重設置という冗長性のあるシステムを推奨。読取値の正確性を期すため。
- 可燃性ガスの検知にはMGDが最速。
 - MGDは、各ガスの特定の濃度を検知するものではなく、異なる可燃性ガス間の特定のパターンを検知する。
 - MGDは、進行中の無煙火災があるかないかを見るのに、各ガスについて5-10分の1の量で済む。
- 適切な検知範囲で適切なセンサを設置する。
 - 特にCOセンサで重要。通常、検知範囲0-3000ppm。3000ppmは、サイロにはバージン材が入っていて周辺条件が最適な場合にサイロ内で発生の可能性。



解決策

推奨するセンサ

- O₂ - 酸素 0-25%
- CO - 一酸化炭素 0-100 000ppm
- CO₂ - 二酸化炭素 0-5%
- CH₄ - メタン 0-100% LEL
- H₂ - 水素 0-100% LEL
- RH - 湿度 0-100%
- 温度



まとめ

- LITより低い値を検出できる適切なスパーク検出器を必ず設置。
- 木質ペレットのサイロ火災を水で消火しようとしてはならない。
- 常にサイロの底面に窒素注入設備を設置する。
- ガスセンサは冗長設置。
- 適切なガスセンサを選定。
- 自社サイロを熟知する。インライン3D スキャナー設置。

Q & A

有難うございました!



PROTECTION SYSTEMS FROM

firefly