

# バイオマスの安全な取り扱いと貯蔵

安全性財団ウェビナーシリーズ

**Fahimeh Yazdan Panah**

**研究技術開発ディレクター**

2023年10月



# #1. 責任

安全な職場の提供

傷病の報告

責任

## 安全な職場の提供

### 業務上の安全は全員の仕事

- ▶ あなたには、雇用主、オーナー、又は監督者として、自身の為に働く人間の健康と安全を守る義務がある。
- ▶ あなたは、職場での事故や傷害を防ぎ、安全で健康な職場を促進する重要な役割を担っている。
- ▶ あなたは、従業員が仕事を安全に遂行する為に必要な情報、トレーニング、監督を得られるようにしなければならない。



責任

## 安全な職場の提供

- ▶ トレーニングの記録（いつ、誰を、何）を書面で残す。
- ▶ 有効な労働健康安全プログラムを構築。
- ▶ 必ず、職場に適切な応急手当用機材、用品、トレーニングを受けた人員を配置し傷害に対応。
- ▶ 定期的に職場点検を行い、すべての機能確認。
- ▶ 作業員から報告してきた問題を解決。
- ▶ 管理下の作業員が既知の危険性すべてを認識しているようにする。

責任

## 傷病の報告

- ▶ 監督下の作業員が、適切な個人用防護具を保有し適切に使用、また定期的に点検され保守されていることを確認。
- ▶ 監督下の作業員が職場で病気や怪我をした場合、医療処置を受けられる様に搬送すること、その搬送費用を支払うのはあなたの義務である。傷害については、所轄の保安機関に報告する必要もあり。



Responsibilities

**職場の安全は、業界の信用を守るための  
全員の義務である。**



## 職場の安全は 全員の仕事

固体バイオマスの貯蔵及び  
輸送の安全性：

- ▶ オフガス
- ▶ 自己発熱とサイロ火災



# #2. 木質ペレットのオフガス

オフガスと酸素枯渇  
安全上の提言  
**ISO**規格



木質ペレットのオフガス

## オフガス及び酸素枯渇

▶ 凝縮性ガスと非凝縮性ガス：  
貯蔵中の木質ペレットは、CO,  
CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 及び微量のアルデヒ  
ドとケトンの様な非凝縮性ガス  
を出すことで知られているが、  
これにはアセトンとメタノール  
に加えヘキサナルとペンタナル  
を含む。



木質ペレットのオフガス

## オフガスと酸素枯渇

- ▶ 生物学的及び化学的プロセスにより酸素が消費され、貯蔵環境下の酸素枯渇を引き起こす。酸素濃度が下がったまま、適切な換気がない閉鎖されたバイオマス貯蔵庫に入ると、取扱い作業員が窒息する可能性がある。



## 木質ペレットのオフガス

### 一酸化炭素、二酸化炭素、メタノールおよび酸素の限界値

化学物質	限界レベル	
CO <sub>2</sub>	5,000 ppmで8時間	OSHAに認められている職場における8時間最大暴露量
	30,000 ppm 以上（短時間暴露）	頭痛、判断力喪失、眩暈、眠気、呼吸促拍
	25 ppmで8時間	OSHAに認められている職場における8時間最大暴露量
	200 ppmで2-3時間	軽い頭痛、倦怠感、吐き気、眠気
CO	400 ppmで1-2時間	重い頭痛-重度のその他症状。3時間後には生命の危険あり。
	800 ppmで45分	眩暈、吐き気、痙攣。2時間以内に意識喪失。2-3時間内に死亡。
	1600 ppmで20分	頭痛、眩暈、吐き気。一時間以内に死亡。
	3200 ppmで5-10分	頭痛、眩暈、吐き気。一時間以内に死亡。
	6400 ppmで1-2分	頭痛、眩暈、吐き気。25-30分間以内に死亡。
CH <sub>4</sub>	12,800 ppmで1分	死亡
	500,000 ppm – 8時間	この濃度で酸素を置き換えると窒息の可能性あり。CH <sub>4</sub> の主な危険性は爆発。CH <sub>4</sub> は天然ガスの主要成分の一つ。空気より軽く、ガスが生成されるto、換気装置より排出されやすい。
	17%	呼吸が早く、深くなる。結果、判断障害を起こす可能性あり。
	16%	酸欠の最初の兆候が表れる。
O <sub>2</sub>		痙攣と喘ぎ呼吸が発生。呼吸停止後即時、心停止となる。
	< 6%	

木質ペレットのオフガス

## オフガスと酸素枯渇

### ▶ 揮発性有機化合物の安全性

- ヘキサゴナルは皮膚と上部気道の炎症を引き起こす。
- メタノールとエタノールは、高用量下で発がん性が疑われる。
- モノテルペンも眼と呼吸器系に炎症を引き起こす。

### ▶ COの安全性

- それ自体は爆発の危険性を成すものではないが、自己発熱、及び/又は高濃度の微細粉体と相乗して着火や爆発事故に寄与する可能性。
- 最も人命事故につながるのはCOの毒性。

木質ペレットのオフガス

## オフガスと酸素枯渇

### ▶ **メタンの安全性**

- ❑ 毒性が強いわけではないが、非常に可燃性が高く、爆発性混合気となる可能性。
- ❑ 酸欠の為に高濃度メタン中で呼吸すると、呼吸と脈拍が早くなり、運動失調、精神的動揺、吐き気と嘔吐、意識喪失、呼吸困難、そして死亡となる。

### ▶ **CO<sub>2</sub>の安全性**

- ❑ 酸欠リスクの増大。関連する健康リスクは、呼吸と脈拍が早くなり、運動失調、精神的動揺、吐き気と嘔吐、意識喪失、呼吸困難、及び死亡となる。従い、十分な換気が必須。

木質ペレットのオフガス

## 安全上の提言

- ▶ ガス感知システム又はCO/CO<sub>2</sub>検知器によりガス濃度を検知してサイロ内のバラ積みペレットをモニターする。測定はサイロの**上部空間**にて行い、出来れば**排出口近辺**にて行う。
- ▶ 身体傷害のリスクは、発生しうる各種緊急事態の事前計画時、有毒ガス暴露、低酸素エリア等の実際の対応時の両方に於いて考慮すべき。
- ▶ 木質ペレット倉庫内の平常作業は、ペレットからのオフガスと合わさり埃っぽい環境となる可能性あり、健康面からも、火災/爆発面からも配慮する必要あり。

木質ペレットのオフガス

## ISO規格

### ISO/TC238/WG7 – 固体バイオ燃料の安全性

6件の規格と技術仕様書が発行済か、作業中。

- ▶ **ISO 20023 – 個体バイオ燃料 – 個体バイオ燃料の安全性 – 住宅及びその他の小規模用途における木質ペレットの安全な取り扱いと貯蔵**
- ▶ ISO 20024 - 固体バイオ燃料 - 商業及び産業用途における固体バイオ燃料ペレットの安全な取り扱いと貯蔵
- ▶ ISO 20048 – 固体バイオ燃料 – オフガスと酸素枯渇特性の測定（2部：1部 – 試験所、2部 – 操業中）
- ▶ ISO 20049 – 固体バイオ燃料 - 自己発熱の測定（2部：1部 – 等温熱量測定、2部 – バスケット加熱試験）

木質ペレットのオフガス

## ISO規格

- ISO 20023 - 固体バイオ燃料 — 固体バイオ燃料ペレットの安全性 — **住宅及びその他小規模用途における木質ペレットの安全な取り扱いと貯蔵**
- ISO 20024 - 固体バイオ燃料 — **商業及び産業用途における固体バイオ燃料ペレットの安全な取り扱いと貯蔵**

ISO/TC 238 Secretariat: SIS  
Voting begins on: 2017-01-20 Voting terminates on: 2017-04-13

---

**Solid biofuels — Safety of solid biofuel pellets — Safe handling and storage of wood pellets in residential and other small-scale applications**

*Titre manqué*

ICS: 27.190; 75.160.40

THIS DOCUMENT IS A DRAFT CIRCULATED FOR COMMENT AND APPROVAL. IT IS THEREFORE SUBJECT TO CHANGE AND MAY NOT BE REFERRED TO AS AN INTERNATIONAL STANDARD UNTIL PUBLISHED AS SUCH.

IN ADDITION TO THEIR EVALUATION AS BEING ACCEPTABLE FOR INDUSTRIAL, TECHNOLOGICAL, COMMERCIAL, AND USER PURPOSES, DRAFT INTERNATIONAL STANDARDS MAY ON OCCASION HAVE TO BE CONSIDERED IN THE LIGHT OF THEIR POTENTIAL TO BECOME STANDARDS TO WHICH REFERENCE MAY BE MADE IN NATIONAL REGULATIONS.

RECIPIENTS OF THIS DRAFT ARE INVITED TO SUBMIT, WITH THEIR COMMENTS, NOTIFICATION OF ANY RELEVANT PATENT RIGHTS OF WHICH THEY ARE AWARE AND TO PROVIDE SUPPORTING DOCUMENTATION.

This document is circulated as received from the committee secretariat.

**ISO/CEN PARALLEL PROCESSING**

Reference number  
ISO/DIS 20023:2017(E)



© ISO 2017

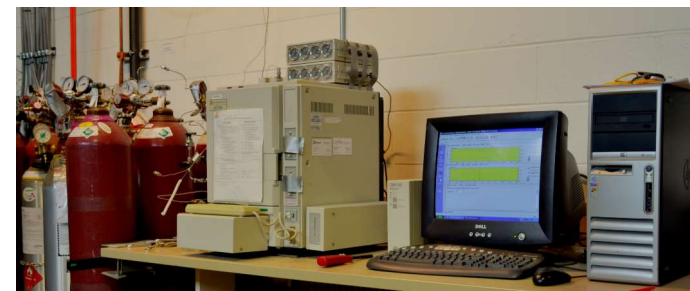


木質ペレットのオフガス

# ISO規格

## WD 20048-1: オフガスと酸素枯渇 特性の測定

### 一部: 閉鎖容器を使用 したオフガスと酸素枯 渇特性を測定する試験 所方法



© ISO ##### - All rights reserved

ISO/TC 238 N 769

ISO /TS 20048-1:2019

ISO TC 238/WG 7

Secretariat: SIS

**Solid biofuels — Determination of off-gassing and oxygen depletion characteristics — Part 1: Laboratory method for the determination of off-gassing and oxygen depletion using closed containers**

WD stage

**Warning for WDs and CDs**

This document is not an ISO International Standard. It is distributed for review and comment. It is subject to change without notice and may not be referred to as an International Standard.

Recipients of this draft are invited to submit, with their comments, notification of any relevant patent rights of which they are aware and to provide supporting documentation.



木質ペレットのオフガス

## ISO規格

- ▶ 本書は、木質バイオマス由来のオフガスと酸素枯渇特性の測定方法につき規定する。
- ▶ 本方法は、熱全乾燥や炭化した材料など、熱処理された材料に対しても適用可能である。
- ▶ 閉鎖された試験容器内で試験体から放出される各種ガスの放出量及び逃減率は、ガスクロマトグラフィーで測定する。

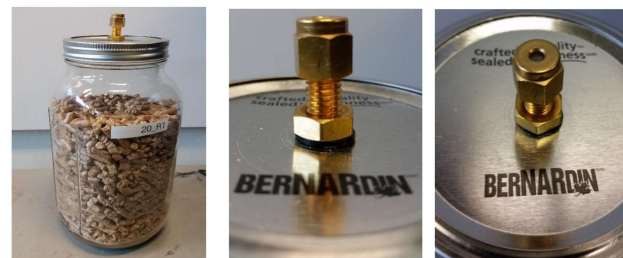


Figure 1 Example of test container of glass with sampling port

木質ペレットのオフガス

# ISO規格

## CD 20048-2: オフガスと 酸素枯渇特性の測定—**2** 部: オフガスから一酸化 炭素をスクリーニングす る操業上の方法

2019-02-25

draftISO/DIS 20048-2

ISO/TC 238 N70313

Secretariat: SIS

**Solid biofuels — Determination of off-gassing and oxygen depletion characteristics — Part 2: Operational method for screening of carbon monoxide off-gassing**

Draft DIS stage

**Warning for WDs and CDs**

This document is not an ISO International Standard. It is distributed for review and comment. It is subject to change without notice and may not be referred to as an International Standard.

Recipients of this draft are invited to submit, with their comments, notification of any relevant patent rights of which they are aware and to provide supporting documentation.

## ISO規格

- ▶ 本書は、固体バイオ燃料ペレット由来のオフガスをスクリーニングする操業上の方法を規定する。オフガス分析前の固体バイオ燃料ペレットのサンプリング方法とサンプルの取り扱い手順を定める。

- ▶ 試験サンプルのサイズ、一酸化炭素ロガー、サンプリング、サンプルの移送と保管、試験容器充填と試験



# #3. 自己発熱とサイロ火災

原因と検知

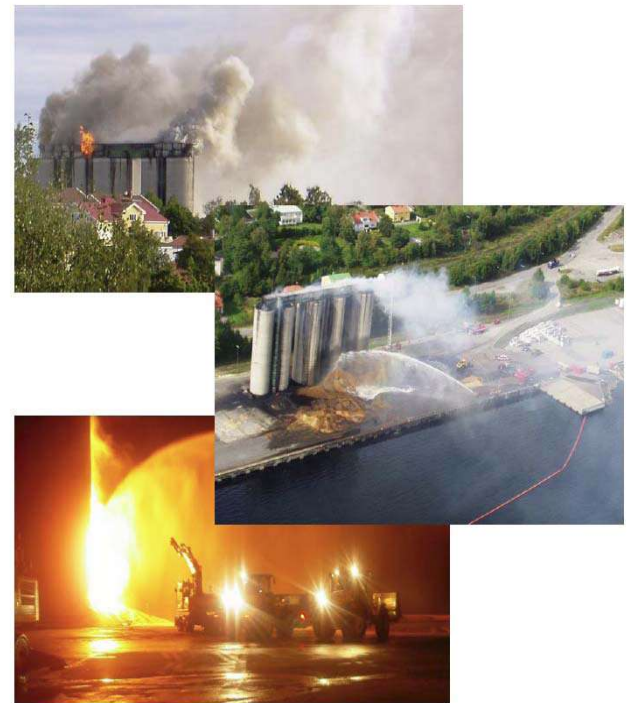
サイロ火災のリスク評価

サイロ火災時の対応計画

**ISO**規格

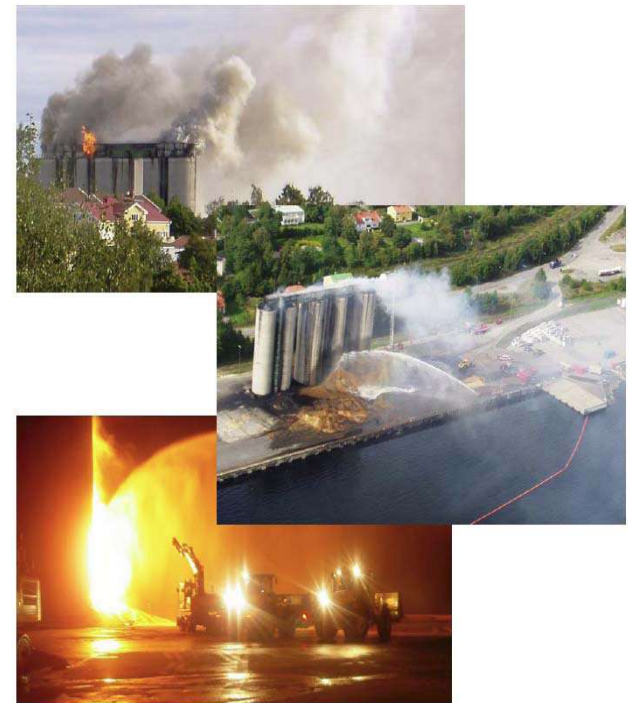
## 原因と検出

- ▶ 石炭（及び木材チップ）と同様に、木質ペレットもバルク貯蔵すると、自己発熱する。
- ▶ 自己発熱により、バルク温度が自己発火点まで上昇する可能性がある。
- ▶ サイロ火災には通常火災とは異なる対処が必要。
- ▶ サイロ火災は滅多に発生しないが、発生すると大惨事となる場合が多い。
- ▶ 消防関係者はややもするとサイロ火災の経験が少ない。



## 原因と検知 - 続く

- ▶ 自己発熱は以下に起因する可能性がある。
  - 生物学的代謝反応(微生物の増殖)  
発熱性化学反応(化学的酸化)
  - 熱を発生する物理プロセス（例えば吸湿）で、乾湿双方のバイオ燃料において発生する可能性。
  - パイルやサイロの規模が大きく、発生する熱を容易に周囲へ放散出来ない場合、問題化する可能性。



# 原因と検知 – 続く 自己発熱と熱暴走

熱暴走  
くすぶり燃焼

水分吸着熱

化学反応

化学酸化  
熱分解  
加水分解

生物学的分解

代謝と生物学的酸化

自己発熱に影響を及ぼす要素:

- バルク内の酸素濃度
- バルクの湿潤
- 相対湿気

悪化要素:

- ペレット温度と含水量
- パイル内の熱および水分の伝導と対流
- 物性（破碎ペレット、ダスト）



## 原因と検知- 続く

- ▶ 自己発熱は、自然発火となるプロセスの最初のステップ。
- ▶ 最も重要な防災対策は、バルク内の異なる場所数か所で温度モニタリングを行うこと。
- ▶ バルク内の変化の検出には、ペレット表面の上の空気の一酸化炭素濃度を測定すべき。
- ▶ 続行中の自己発熱プロセスの最初の兆候の一つはべたべたした刺激臭である。
- ▶ その様な匂いが感知されたら、燃料バルク内では熱分解が既に発生しているので、消火作業を開始すべし。



## サイロ火災リスク評価

- ▶ 疑わしい、又は確認されたくすぶりは、現場の高濃度一酸化炭素発生の原因となる可能性がある。
- ▶ サイロのタイプと起こりうる火災シナリオを見極め、アクセスルールを策定する。
- ▶ 火災、ガス/粉塵爆発のリスクを考慮する。
- ▶ 消火活動のリスク評価も行う。



## サイロ火災時の対応計画

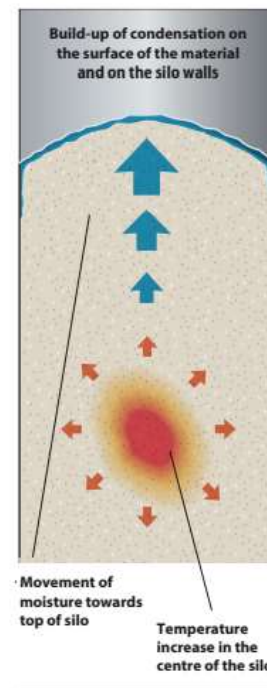
# **事前の計画作りで、仕事の半分は完了。**

- ▶ 消防署、窒素ガス/設備供給業者との協力の下、緊急対応を事前に計画する。
- ▶ 消火活動のリスク分析を含めるべき。対策準備（重要な必要事項を確認する。）
- ▶ プラント全体のリスク評価による防止対策も確認する。

## サイロ火災時の対応計画

サイロのタイプと起こりうる火災シナリオを見極める。

- ▶ サイロのタイプ、バルクの種類、充填の度合い
- ▶ 如何なる監視が行われてきたか？
- ▶ 自己発熱状態か、火災が確認されているか。
- ▶ 表層火災の疑いありか、根深いくすぶりか。
- ▶ サイロに接続されている搬送システム
- ▶ サイロには強制換気システムが配備されているか？



## サイロ火災時の対応計画

初期リスク評価を行い、アクセスルールを策定する。

- ▶ 高濃度一酸化炭素又は低濃度酸素に対するリスクを考慮。
- ▶ 高濃度ガスは、隣接した場所、例えば管理室、スタッフエリアにても発生する可能性あり。
- ▶ 一酸化炭素と酸素両方の測定により検証する。
- ▶ 疑わしいときは、完全防護具とSBCA（自立式呼吸装置）を使用する。



## サイロ火災時の対応計画

### 火災の疑いのある場合の評価

- ▶ はっきりした匂い、貯蔵材料内部で計測される異常温度、サイロ上部の通常の量ではない水滴等。
- ▶ 常に気を付け、可能な限り早く行動を取り、出てくる警告シグナルを重く受け止める。
- ▶ 火災を拡大させない為には、状況につきより沢山の情報を早く集め、火災であればすみやかに消火活動を開始することが常に重要。

## サイロ火災時の対応計画

### シナリオ 1: 自己発熱状態

- ▶ 可能ならば、サイロ内の材料の排出を開始して発熱部分を分散する。
- ▶ サイロ上部空間の一酸化炭素と酸素を測定する。（高濃度の一酸化炭素を%で分析する分析器が必要）
- ▶ 排出した材料の管理を強化する。
- ▶ 熱く、変色したものやくすぶったものが確認された場合は、即座に排出を止め、可能な限り早くサイロの不活性化準備を行う。



## サイロ火災時の対応計画

### Scenario 2: 火災確認

- ▶ **サイロは開けない!**
- ▶ 火災がコントロールされない限りはサイロを開けたり材料を出そうとはしない。ガス爆発や粉塵爆発の危険性大。
- ▶ サイロ上部空間のガス爆発のリスクは高いと想定する。
- ▶ サイロの上の作業は避ける。
- ▶ 地上のリスクエリア拡大を検討。
- ▶ サイロ上部空間の不活性化を検討。

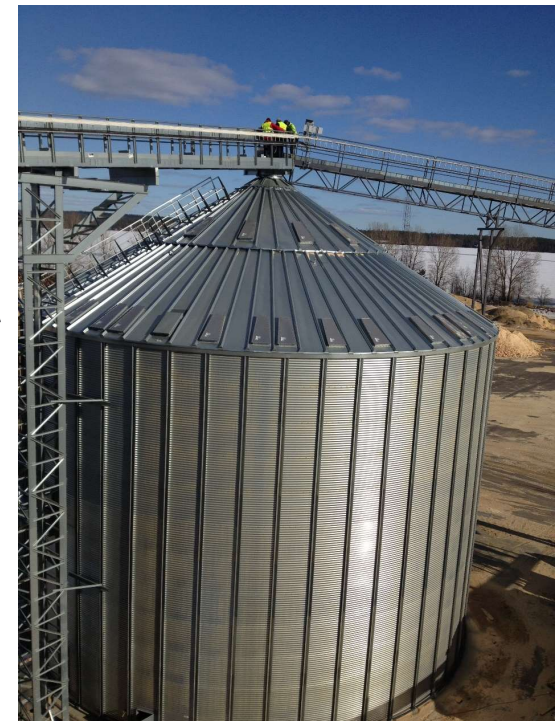




## サイロ火災時の対応計画

# サイロを閉鎖して、空気混入を最小化

- ▶ 機械換気を停止。
- ▶ 換気口、リーク箇所すべてを閉鎖するかシール
- ▶ 吸い込みバルブ、排出バルブを閉鎖・シール
- ▶ 空気の流入は防止しながら、窒素注入中にはサイロ上部に圧力を逃す方法があるようにする。



自己発熱とサイロ火災

## サイロ火災時の対応計画

# サイロ底部と上部空間の不活性化

- 液体窒素、ガスエエバボレータ、超低温タンクの配達を手配。
- 機材を安全な場所に置き、取り出し作業中の邪魔にならないようにする。
- 機材とガスの手配が容易ではない場合は、ガス設備の設置や相互扶助システムの構築を検討。

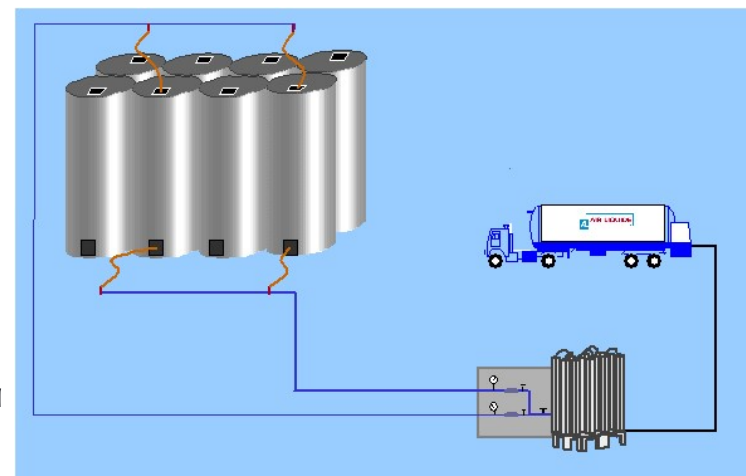


移動式エバボレータの写真。ガスタンクとタンカー車  
[Persson, Henry. 2013. Silo Fires - Fire Extinguishing and Preventive and Preparatory Measures]

## サイロ火災時の対応計画

# サイロ底部と上部空間の不活性化

- サイロ底部からガス注入が安全かつ最も効率的な不活性化。
- (バラ積みの多孔性50%として) ガス注入率  $5 \text{ kg/m}^2 \text{ h}$  で、たて方向に平均およそ  $8 \text{ m/h}$  の充填率。
- ガス消費量総量を  $5\text{-}15 \text{ kg/m}^3$  程度と算出(総体積)

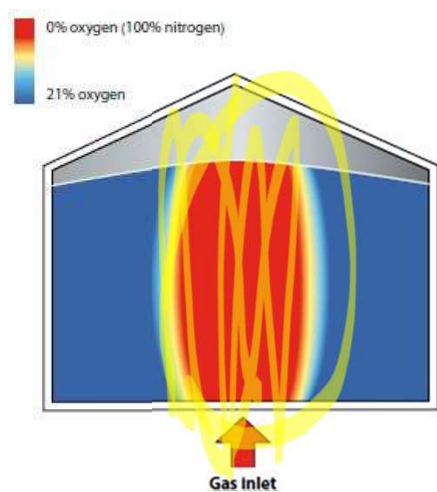


サイロ消火用不活性ガスシステム [Persson, Henry. 2013. Silo Fires - Fire Extinguishing and Preventive and Preparatory Measures]

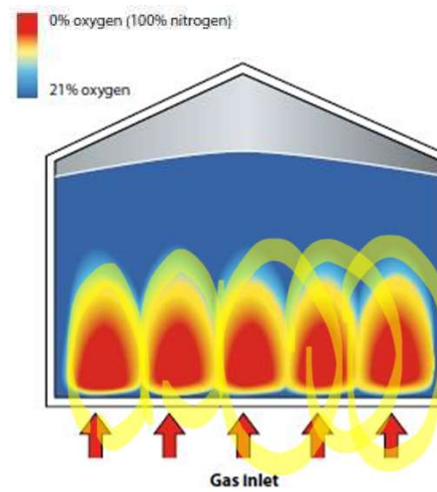
## サイロ火災時の対応計画

# サイロ底部と上部空間の不活性化

径の大きなサイロでは、ガス配注システムが設置されていないと、ガス注入がうまくいかない可能性。



Single gas inlet



Distributed gas inlets

大径サイロでガス注入。大径の中心に注入口ひとつでは、長時間注入したとしても全体に行きわたらない。複数の注入口を使うことで、サイロ断面全体に行きわたる。 [Persson, Henry. 2013. Silo Fires - Fire Extinguishing and Preventive and Preparatory Measures]

自己発熱とサイロ火災

## サイロ火災時の対応計画

### 他の消火方法- 泡消火剤

- ガス機材の到着に時間がかかる場合、炎が外へ出る大きなリスクがある場合は、サイロ上部空間に中発泡性もしくは高発泡性の泡消火剤を注入する方法もある。
- 高品質の発泡剤を使い、排出作業を最小限とする。



自己発熱とサイロ火災

## サイロ火災時の対応計画

### 水の注入？

木質ペレットのサイロ内には水は使わない。ペレット膨張によって大きな力が発生し、サイロの構造に亀裂が入る可能性がある。また水性ガスシフト反応で爆発性水素が生成される可能性も。



## サイロ火災時の対応計画

### サイロの消火方法

- (可能ならば) サイロ上部空間のガス濃度と温度を測定する。
- ガス (CO 及びO<sub>2</sub>) と温度の測定値で鎮火プロセスをモニターし、継続して行うリスク評価の基本情報とする。これは排出作業中も同じ。
- 高濃度のCO濃度を測定できるガス分析器 (min 10%=100 000 ppm)
- すみやかに窒素注入を開始。

## サイロ火災時の対応計画

### サイロの消火方法

- ガス配送トラックから、流量は低いですが直接ガスを得られることが多い。
- 爆発の危険性やサイロ上部空間内で炎が上がる危険性が大きい場合（酸素濃度高）は、サイロ上部空間への窒素注入を検討する。
- 流量 5 kg/m<sup>2</sup> h (木質粉塵にはこれより低く) でサイロ底部からガス注入を開始する。
- ガス注入を継続し、サイロ上部空間の目視と測定値で鎮火プロセスをモニターする。



Self-Heating and silo fire

## サイロ火災時の対応計画 材料の取り出し

- 排出作業は、火災が鎮まり、酸素濃度が5%未満で、一酸化炭素濃度が大きく下がるまでは行わない。



## サイロ火災時の対応計画

### 材料の取り出しー 続き

- サイロから材料を取り出す作業中は、**サイロの底部から窒素注入を継続する**。燻り続けているものも出てくるので、排出作業中に十分に機材をそろえた火災救助員が立ち会っていることが肝要。
- 排出作業中は、ガス検知器を使って、サイロ内の状況を常に監視する。酸素や一酸化炭素の濃度が高いことは、空気リークやサイロ内で材料の反応性が高くなっていることを示している可能性がある。

## サイロ火災時の対応計画

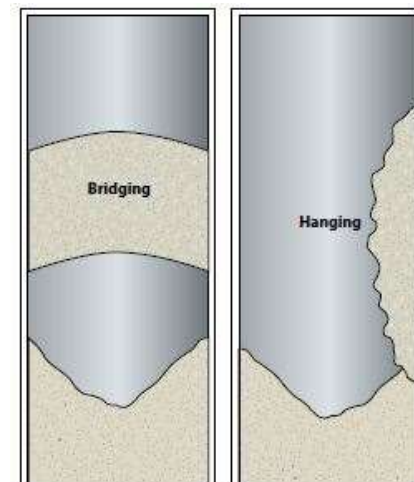
### 材料の取り出しー 続き

- 材料の排出時には、粉塵の発生を抑えるように常に気を付ける。サイロから取り出したら、建物や施設から離れた空地に保管する。
- 排出作業には数時間、ときには数日かかることを見込んで計画する。
- 取り出した材料を仕分けして、「被害なし」を変色したもののや燻っているものと分別する。

## サイロ火災時の対応計画

### 材料の取り出しー 続き

- 燻った材料は互いに「くっついてしまい」排出口に詰まる可能性がある。
- サイロ内で横につながってしまっていないか、壁沿いにくっついていないか確認する。
- 取り出した材料用に大きなスペース要。
- 取り出したものが再着火しないように監視する。
- 取り出したら、長円形に積み上げ、影響を受けていないものを変色や炭化したものと別にするようにする。



自己発熱とサイロ火災

## ISO 規格

CD 20049: ペレット  
ト化されたバイオ  
燃料の自己発熱の  
測定 — **Part 1**: 等  
温熱量測定

Draft ISO/DIS 20024

version 2018-07-04

ISO TC 238/WG 7 **N 70275**

Secretariat: SIS

**Solid biofuels — Safe handling and storage of solid biofuel pellets  
in commercial and industrial applications**

Draft DIS stage

**Warning for WDs and CDs**

This document is not an ISO International Standard. It is distributed for review and comment. It is subject to change without notice and may not be referred to as an International Standard.

Recipients of this draft are invited to submit, with their comments, notification of any relevant patent rights of which they are aware and to provide supporting documentation.



Self-Heating and silo fire

## ISO規格

CD 20049:ペレット化されたバイオ燃料の自己発熱の測定— **Part 1:**  
等温熱量測定

- 本書は等温熱量測定を使用した自己発熱の定量化の一般的な試験方法を規定する。
- 機器を使用し、60 °Cにおける木質ペレットのスクリーニング方法。
- 試験中のサンプルの熱出力（熱流量）を定量化する。



自己発熱とサイロ火災

# ISO規格

## CD 20049:ペレット化されたバイオ燃料の自己発熱の測定— **Part 2**: バスケット加熱試験

© ISO #### - All rights reserved

ISO/DTS 20049-2

ISO TC 238/WG 7

Secretariat: SIS

Solid biofuels — Determination of self-heating of pelletized biofuels — Part 2: Basket heating tests

DTS stage

Warning for WDs and CDs

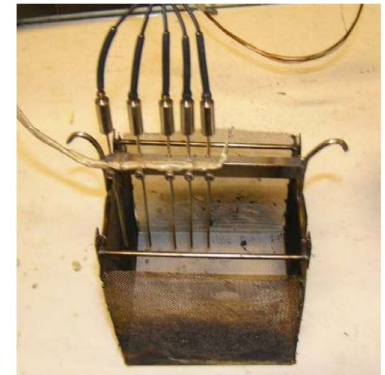
This document is not an ISO International Standard. It is distributed for review and comment. It is subject to change without notice and may not be referred to as an International Standard.

Recipients of this draft are invited to submit, with their comments, notification of any relevant patent rights of which they are aware and to provide supporting documentation.

## ISO規格

### CD 20049:ペレット化されたバイオ燃料の自己発熱の測定— **Part 2:** バスケット加熱試験

- 下記などの自己発熱の特性化のための**バスケット加熱試験**の情報。
  - a) バスケット加熱試験方法の一覧
  - b) 固体バイオ燃料ペレットに対するバスケット加熱試験方法の適用性と利用のためのガイダンス
  - c) 貯蔵におけるクリティカルな(臨界) 条件を算出するためのバスケット試験データの適用
- 記述した方法は固体バイオ燃料以外の物質にも使用可能(ウッドチップなど)



ワイヤメッシュのバスケットに熱電対フレーム [Lönnermark et al. 2012.Small-scale methods for assessment of risk for self-heating of biomass pellets. SP Report.]



# References

- Babrauskas, Vytenis. Ignition Handbook Fire Science Publishers, Issaquah WA, USA.
- Guo, W. 2013. "Self Heating and Spontaneous Combustion of Wood Pellets during Storage."
- Guo, Wendi, Ken Trischuk, Xiaotao Bi, C. Jim Lim, and Shahab Sokhansanj. 2014. "Measurements of Wood Pellets Self-Heating Kinetic Parameters using Isothermal Calorimetry." *Biomass & Bioenergy* 63: 1-9.
- Koppejan, Jaap, Anders Lönnermark, Henry Persson, Ida Larsson, Per Blomqvist, Mehrdad Arshadi, Elizabeth Valencia-Reyes, et al. 2013. Health and Safety Aspects of Solid Biomass Storage, Transportation and Feeding: IEA Bioenergy.
- Kuang, Xingya, Tumuluru Jaya Shankar, Xiaotao T. Bi, Shahab Sokhansanj, C. Jim Lim, and Staffan Melin. 2008. "Characterization and Kinetics Study of Off-Gas Emissions from Stored Wood Pellets." *Annals of Occupational Hygiene* 52 (8) (8): 675-683.
- Persson, Henry. 2013. Silo Fires - Fire Extinguishing and Preventive and Preparatory Measures.
- Yazdanpanah, F. 2013. "Evolution and Stratification of Off-Gasses in Stored Wood Pellets." PhD, University of British Columbia.
- Yazdanpanah, F., S. Sokhansanj, C. J. Lim, A. Lau, X. Bi, and S. Melin. 2014. "Stratification of Off-Gases in Stored Wood Pellets." *Biomass & Bioenergy* 71: 1-11.
- Yazdanpanah, F., S. Sokhansanj, H. Rezaei, C. J. Lim, K. Lau, X. Bi, S. Melin, J. Shankar Tumuluru, and C. K. Kim. 2014. "Measurement of Off-Gases in Wood Pellet Storage." In *Advances in Gas Chromatography*, 1-33: InTech



Thank you for your attention.

**Questions?**

[fahimeh@pellet.org](mailto:fahimeh@pellet.org)

[fahimeh.yazdanpanah@ubc.ca](mailto:fahimeh.yazdanpanah@ubc.ca)