

#4. 可燃性粉塵及び 可燃性ガスの管理

可燃性粉塵
可燃性ガス
粉塵ハザード分析ツール
可燃性粉塵モニタリング

可燃性粉塵 – 爆燃



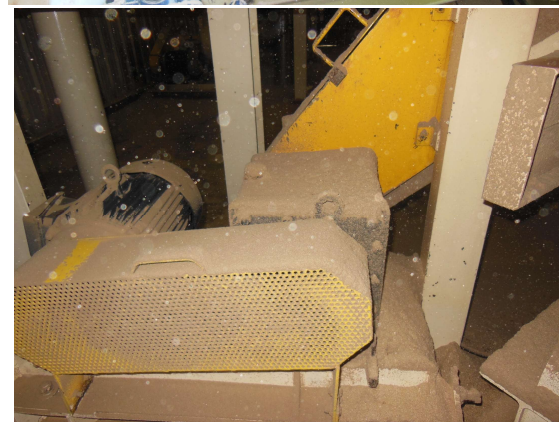
■ 可燃性粉塵

問題が多いのはなぜ？

- ▶ 可燃性である木材粉塵は、廃材ではなくペレットの原料。
- ▶ 大量の可燃性粉塵が納入され、保管、搬送、乾燥、そしてペレットに圧成形。
- ▶ 搬送は、大半が送風ニューマチック設備で実施。
- ▶ 木材粉塵は、含水率**4-6%**まで乾燥させてからペレット成形。

可燃性粉塵と可燃性ガスの管理

可燃性粉塵



■ 可燃性粉塵

木材粉塵が爆発性となるのは？

粉塵が以下の場合:

- ▶ 乾燥度 – 含水率 **25%** 未満
- ▶ < **500** ミクロンの微粒子で空中浮遊性
- ▶ 爆発濃度で空中に浮遊 – 立米あたり **40** グラム以上
- ▶ 閉鎖空間内

これに発火源と酸素があると爆発となる。

可燃性粉塵

粉塵爆発とは？

- ▶ 閉鎖空間で微粒な可燃性粉塵が空中に浮遊状態で着火すると、粉塵爆発が発生。
- ▶ 着火すると急激に燃焼が拡がり、可燃性ガス、熱が放出され、瞬時に圧力が増大して、爆発を引き起こす。

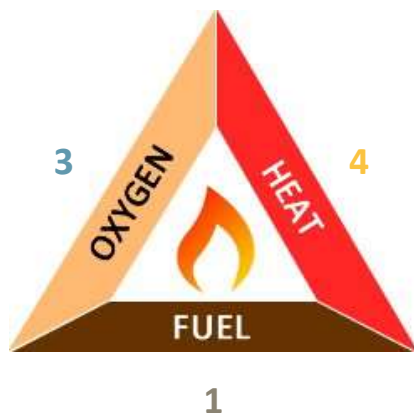


可燃性粉塵と可燃性ガスの管理

可燃性粉塵

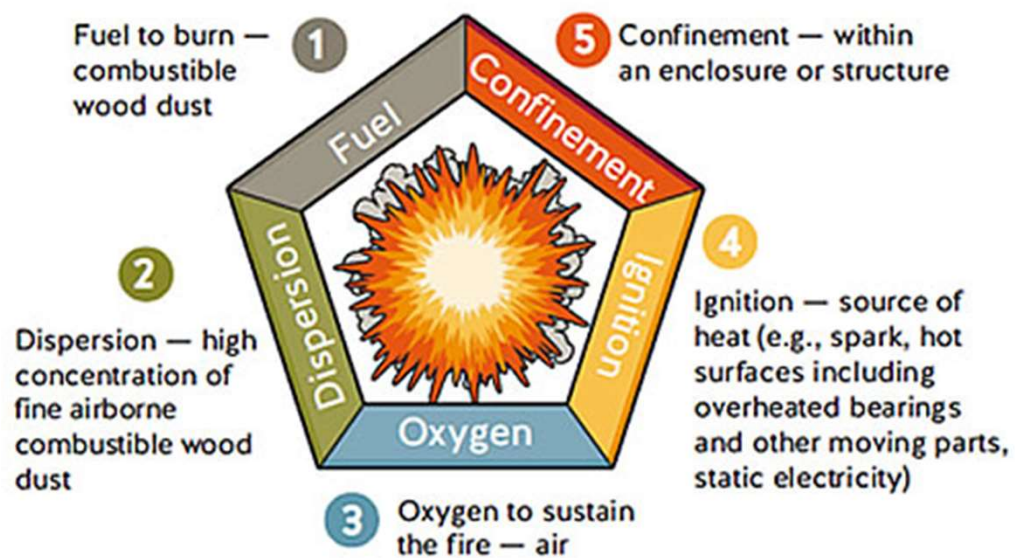
火災の三角形と同様、粉塵爆発には一定の要素が必要

Fire Triangle



+2
Components

Dust explosion pentagon

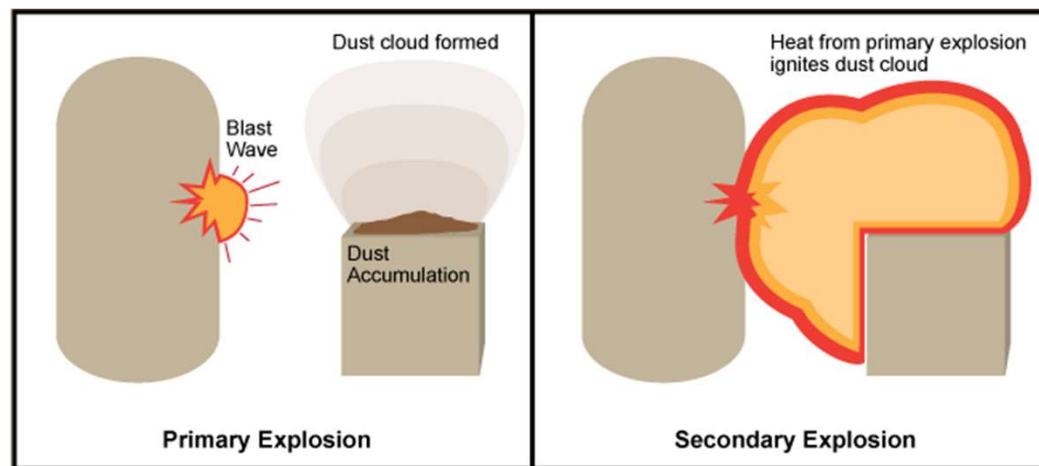


If a high concentration of wood dust becomes airborne and contacts an ignition source in a contained area, an explosion will likely occur.

可燃性粉塵

一次爆発と二次爆発

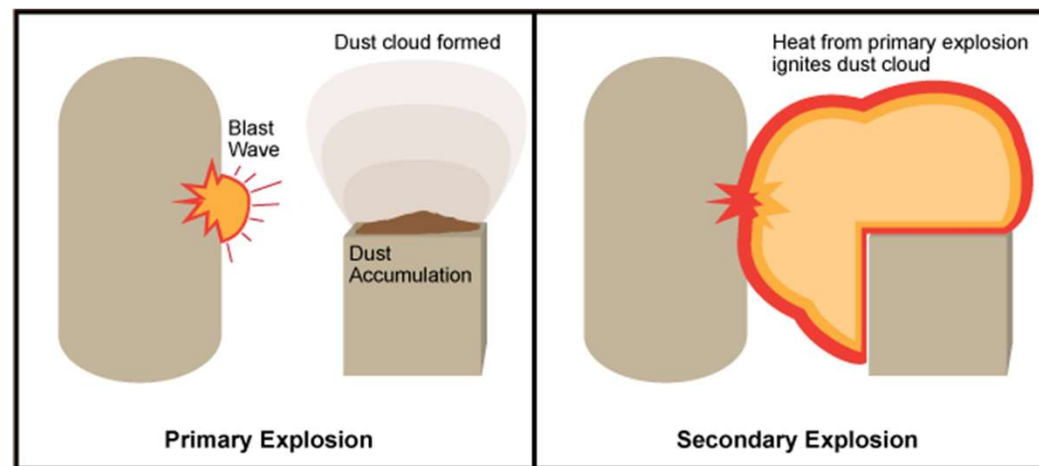
- ▶ 一次爆発がまず発生。一般的に、容器内、部屋内、設備内部で発生する。
- ▶ 垂木や設備の上、高いところの平らな天面に蓄積していた粉塵が一次爆発の爆風で飛散する。



可燃性粉塵

一次爆発と二次爆発 続き

- そのため粉塵が空中に浮遊し燃料と化し、二次爆発と呼ばれる拡大した爆発につながる。
- 二次爆発は、可燃性粉塵の入った2つの容器が配管でつながっていて、その間に防爆隔離装置がない場合にも発生しうる。



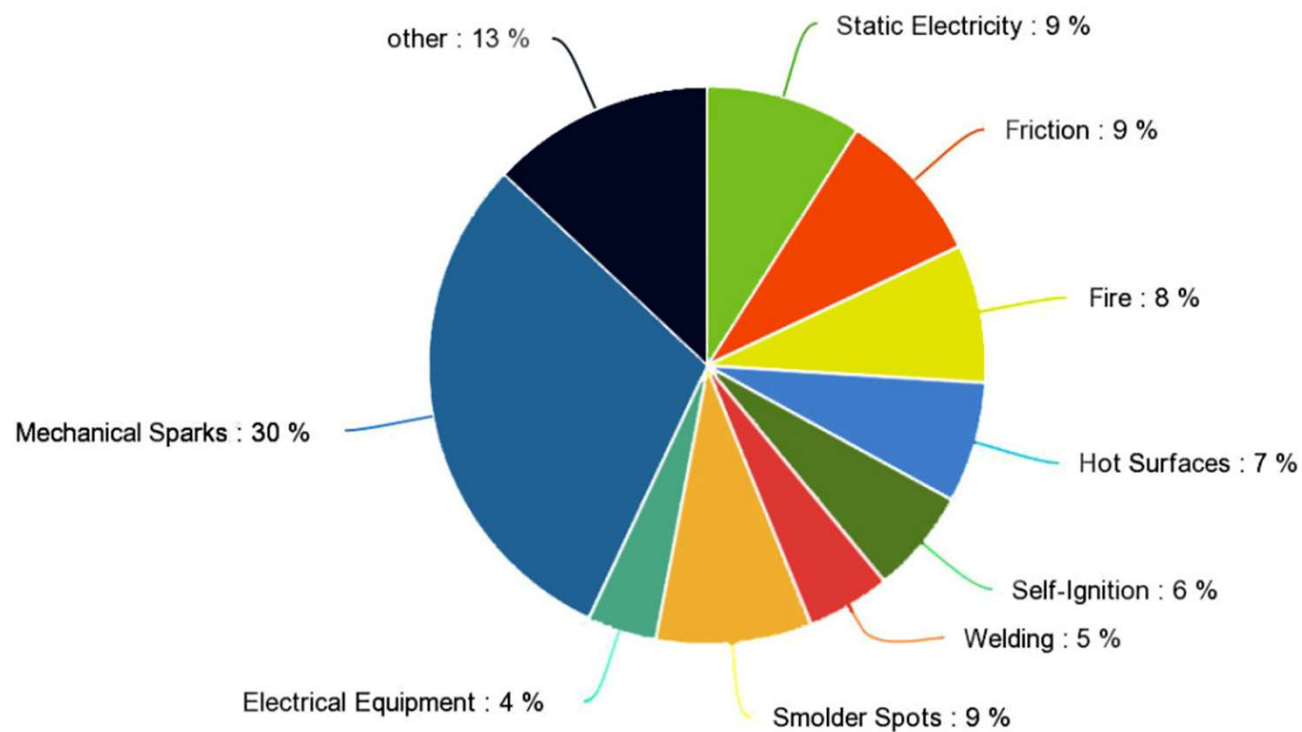
二次爆発



可燃性粉塵と可燃性ガスの管理

可燃性粉塵

発火(着火)源



■ 可燃性粉塵

粉塵ハザード評価

- ▶ 定期的にハザード分析リスク評価を行う。
- ▶ 一般的に検討すべきエリア
 - 原材料、完成品保管エリア
 - 粉砕機/ハンマーミル
 - コンベヤ（搬送設備）
 - ホッパー
 - スクリーニング

■ 可燃性粉塵

粉塵ハザード分析 続き

- ▶ 検討対象となりにくいエリアも視野に
 - 集塵設備
 - 電気ボックス内
 - コンベヤの乗り換えポイント
 - 水平面
 - 配管類、配管ラック、ケーブルトレイ、垂木、釣り天井の裏側

■ 可燃性粉塵

粉塵管理手法: 受動的封じ込め、工学的制御、ハウスキューピング（定期清掃）

受動的封じ込め（パッシブコンテイメント）

大量に粉塵を発生するエリアを特定し、その場に粉塵を封じ込めておく方法を検討する。コンベヤに覆いをつけるのがその例。設備を閉鎖空間とするときには集塵装置を取り付けることも検討する。

■ 可燃性粉塵

工学的制御

- 集塵装置で粉塵を除去するのが最善策。
- 抑制設備としてミスト噴霧装置は効果的であるが寒冷気候では問題。
- 換気設備は、壁や天井にファンを設けて、空気の流通を向上させ問題となる粉塵を制御する一助となる。
- 粉塵管理設備はどれも、検査と保守を行い、動作に問題がないようにする。

■ 可燃性粉塵

ハウスキーピング

- 経験則による目安: 3 mm 厚以上の粉塵が面積の5%を超えてはならない。
- 定期的にハウスキーピングを実施。
- 壁と梁に注意。
- 吸引除去、水で洗い流す、箒、エアブロワの使用など。
- 定期的な点検を行い、不備な点をメモして、是正措置の遂行を確認。

可燃性粉塵と可燃性ガスの管理

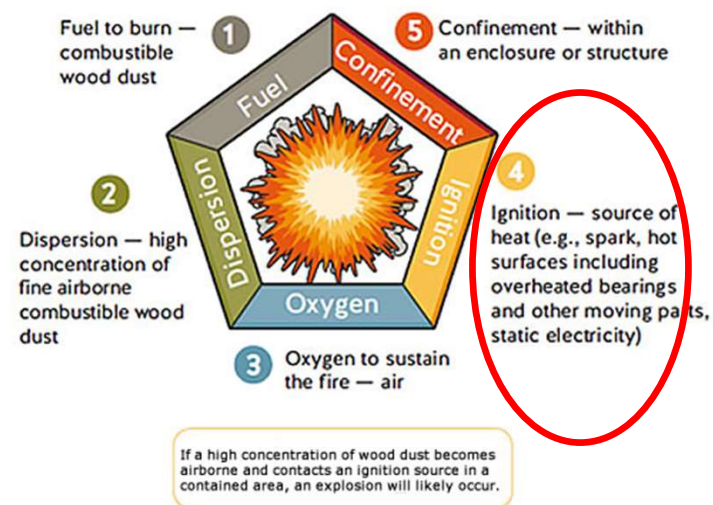
■ 可燃性粉塵

着火抑制

管理体制が必要

- 高熱作業
- 予防的メンテ
- 電気機器
- 静電気
- 高温機器と高温の表面
- 喫煙と炎

Dust explosion pentagon



■ 可燃性粉塵

熱

- 高熱作業は安全な場所で行う。
- 周辺の可燃物は保護するか場所を移動する。
- 消火器を備え、火災報知体制を構築する。

■ 可燃性粉塵

予防的メンテ

- ▶ 着火源の定期的な点検、オイル差し、保守。
 - ベアリング
 - ベルト、budgets、滑車
 - ミーリング加工機
- ▶ 目視振動検知システム、熱感知装置その他の熱検出方法を利用して高温部分が分かるようにする。

■ 可燃性粉塵

機械の摩擦やスパーク

- ▶ 摩擦やスパークの発生源を同定: 損傷したガード部、ベルトの滑り、その他。
- ▶ 制御手段を講じてハザードを除去する。
- ▶ 定期的に点検を行い、ハザードを同定し、予防的メンテナンスを特定してハザードを管理する。

■ 可燃性粉塵

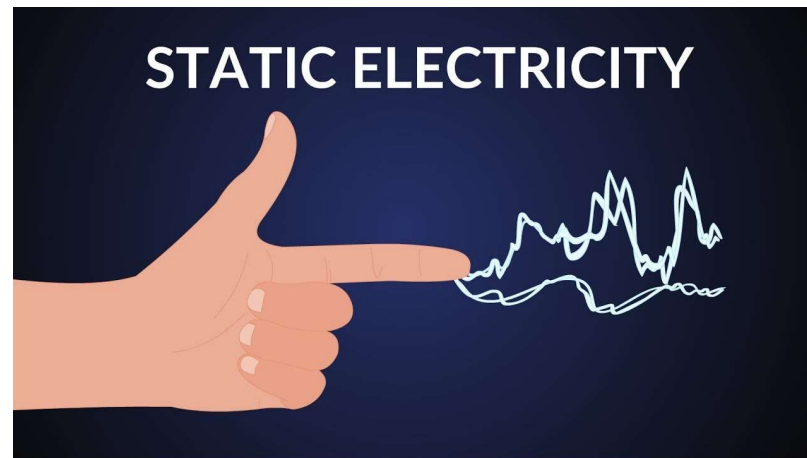
電気機器

- ▶ 電気モーター制御装置や配電盤など電気機器のすべてのエンクロージャの定期的な保守作業と清掃を行う。
- ▶ 電気ボックスの扉や通電設備のカバーが閉じていてセキュリティがあることを確認する。
- ▶ 電気機器のエンクロージャ用換気設備がクリーンで正常に動作していることを確認する。
- ▶ どんな用途であれ、電気機器が適切な定格で適切に設置されていることを確認する。

可燃性粉塵

静電気

- ▶他に、鋸の軸穴のような発生源もあれば、バキューム吸引に関連してハザードとなるものもある。
- ▶機器が用途に対して適切な定格であり、適切に接地されていることを確認する。



可燃性粉塵

高温機器及び高温表面

- ▶ 粉塵に暴露される前に、機器を停止して高温表面の温度が下がるようにする。
- ▶ よく見られる高温源には、配管、コンプレッサ、モーター、携帯電気工具、照明、輻射熱ヒーターなどがある。



■ 可燃性粉塵

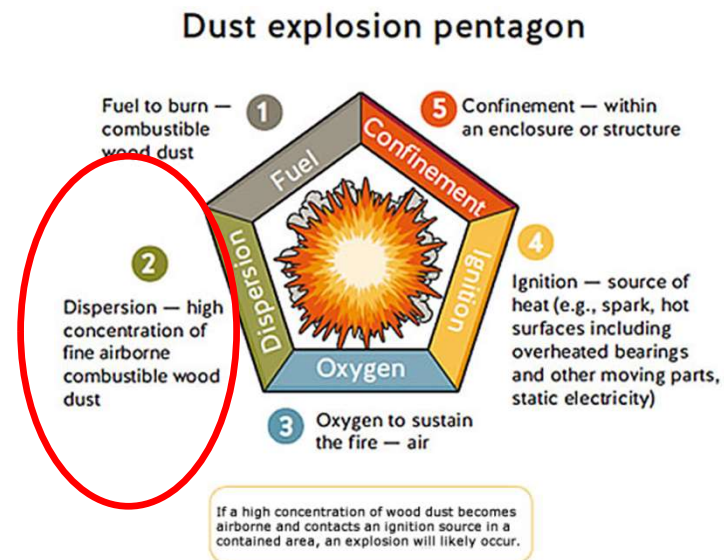
喫煙と炎

- ▶ 喫煙ルールと手順を策定実施し、守られるようにする。
- ▶ 炎やスパークの発生しかねないすべての箇所を認知して管理する。

■ 可燃性粉塵

拡散制御

- ▶ 拡散機序を同定する。
- ▶ 拡散した粉塵の特性を考慮する。
- ▶ 拡散を下げることを考慮する。
- ▶ どんな変更でも新たなハザードが付きものであることを忘れない。



■ 可燃性粉塵

防爆

- ▶ 紹介した粉塵制御対策、着火源管理対策すべてを取っていたとしても、可燃性粉塵の入った容器中で爆発が発生する可能性は残る。
- ▶ こうした容器は（集塵機、ドライヤーなどの）防爆を必要とする可能性がある。
- ▶ こうした容器を同定し、ハザードがどの程度か評価して防爆が、望ましい、または必要である場合には、防爆を施す。
- ▶ 防爆排気設備、爆発抑制設備が最もよく見られる防爆となっている。

■ 可燃性粉塵

緊急時の手順

- ▶ 緊急時の手順書を作成し、全員に研修を行う。
- ▶ 避難ルートを設定し表示する。
- ▶ 少なくとも年一回は避難訓練を行い文書化する。

可燃性粉塵と可燃性ガスの管理

■ 可燃性粉塵



■ 可燃性ガスとは？

- 可燃性ガスは主として、**一酸化炭素、水素、メタン**、もしくは天然ガス。工程設備内で不完全燃焼があると生成される。
- 貯蔵中の木質ペレットも可燃性ガスを発生することがあり、特に**自己発熱**中に放出する。
- **高温乾燥**中には、一酸化炭素、水素、メタンなどのガス、ならびに揮発性有機化合物(VOC)が生成される。
- **酸素**が空気中に存在しないと燃焼も爆発も発生しない。



実際に発生したサイロ爆発。おそらくは、燻りを消そうとして静電気が発生し、上部空間のガスに着火したのが原因であろう。
(courtesy of Dag Botnen, Hallingdal brann- og redningstenste iks, Norway)

■ 可燃性ガスとは?- 続き

- 発生したガスには引火性があり、濃度が高くなると爆発性となりうる。
- このガスを換気によって工程から排出しなかったり、（停電などで）換気設備が動作していない場合は、ガス濃度が上昇しうる。
- 燃焼と爆発には必ず空気中に酸素の存在が必要。

ガス爆発

可燃性ガス管理



NJ House Explosion – Dash cam footage from police car – 02/24/2015

可燃性ガス-最大のリスクはどこに？

- **ドライヤー** が火災や爆発の最大のリスク。
- 予期せず突然発生する 停電/電力乱高下
- 予定メンテナンスで操業停止中
- サイクロンの詰まり、インフィードエアロックの不具合、制御ダンパ不良など、ドライヤーの構成機器の不具合



■ 可燃性ガス-最大のリスクはどこに？

- 消防機材の不良。たとえば、一斉開放弁の目詰まりや同弁の欠落、消火ノズルのソレノイド弁不良など。
- 他の操業上の支障発生。たとえば、プラントの他のエリアで問題が発生し、そのためにドライヤー設備の停止動作が急速に発生する場合など。



ガス/蒸気の静電気による着火



New Windsor Cosmetics – Gas Vapour explosion Nov 20 2017

- 可燃性ガスーリスク低減
 - 十全な **リスク評価** を行い、可燃性ガスがいつ、一番発生するか、どこに一番蓄積するかを知る。
 - **アラームと制御装置** を使い、火災と爆発のリスクを低減する。
 - **監視装置** をドライヤーもしくはは燃焼設備内に設置する。
 - **非常用発電設備** を設置しておく。
 - **ダクトをクリーン** に保ち、**換気** 設備が機能していることを確認する。



References

- Fike Corporation –Deflagration video from remote test facility
- 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 Lönnemark, 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