

# 英国バンスフィールド油槽所で発生した爆発火災について ーバンスフィールド事故調査委員会調査報告書(第1報)より抜粋ー†

藤本康弘\*1

2005年12月11日に英国ヘメル・ヘムステッドのバンスフィールド油槽所で発生した爆発火災について、英国 HSE と英国環境庁が実施した事故調査の第一報を日本語訳して要約したものを紹介する。本災害のような非常に大規模な爆発火災は、幸い日本では近年起きていないが、その現象について理解を深めることは、規模は違っても類似災害をふせぐ一助になると考える。

**キーワード:** バンスフィールド, 蒸気雲爆発, 貯蔵タンク, 漏洩, 無鉛ガソリン, PFOS

## 1 はじめに

ここで紹介する調査報告書は、2005年12月11日に英国ヘメル・ヘムステッドのバンスフィールド油槽所で発生した爆発火災(写真1)に関して、独立調査委員会から健康安全委員会(Health and Safety Commission, 以下 HSC) および環境庁に提出された報告書の第1報である。この災害調査は英国労働衛生安全法(1974) 第14条(2)(a) に従い、HSC の指揮により行われている。その調査の実施は衛生安全庁 (Health and Safety Executive 以下 HSE) と環境庁が合同で行なっている。

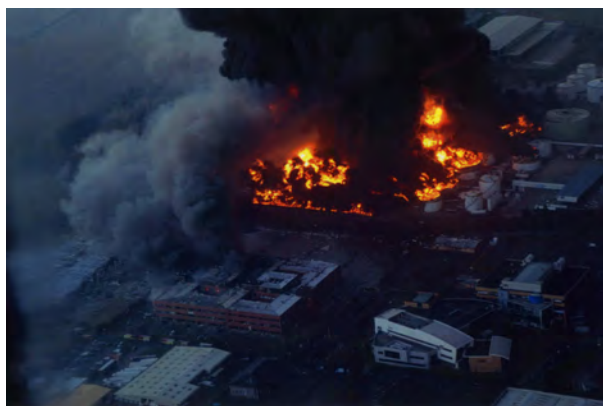


写真1 燃え盛るバンスフィールド油槽所

ここでは、上記報告書を日本語訳して要約したものを紹介する。また補足資料として、いくつかの写真を中間報告書および S.Bennett 氏 (英国 CAFCO 社) の本災害報告書に関する Summary から引用した。

† 原稿受理 2008年1月7日

\*1 労働安全衛生総合研究所化学安全研究グループ.

連絡先: 〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6

労働安全衛生総合研究所化学安全研究グループ 藤本康弘\*1

E-mail: fujimoto@s.jniosh.go.jp

## 2 バンスフィールド爆発火災災害の概要

### 1) 災害発生日時

2005年12月11日 06:01 頃

### 2) 発生場所

英国ヘメル・ヘムステッドのバンスフィールド油槽所

### 3) バンスフィールド油槽所の事業概略

バンスフィールド油槽所は、石油会社3社によって運営される大型石油貯蔵タンク集合地域である。その3社とは Hertfordshire Oil Storage Limited (Total UK Limited と Chevron Limited の合弁会社), United Kingdom Oil Pipelines Limited and West London Pipeline and Storage Limited (British Pipeline Agency Limited が運営), British Petroleum Oil UK Limited である。1999年に定められた重大災害ハザード規制 (COMAH) において、各基地は「最優良施設」に分類されていた。

バンスフィールド油槽所とその周辺の配置図を図1に示す。バンスフィールド油槽所は、石油精製所、パイプライン、貯蔵タンク群からなる全国的な石油精製ネットワークの一部を構成しており、それぞれファイナルライン、M/B パイプライン、T/K パイプラインと呼ばれる3つのパイプラインシステムにより、燃料がバンスフィールド油槽所に供給されている。

[1] ハンバーサイド州 Lindsey Oil Refinery から Hertfordshire Oil Storage Limited West までの管径 10 インチのパイプライン(ファイナルライン)

[2] British Pipeline Agency Limited の運営する Cherry Tree Farm を終着点とする、マージーサイドからバンスフィールドまでの管径 10 インチのパイプライン(M/B パイプライン)

[3] British Pipeline Agency Limited の運営するメインサイトを終着点とする、バンスフィールドへの引込み線を含むテムズ(コリトン) からウォリックシャー州キングズベリーまでの管径 14 インチのパイプライン(T/K パイプライン)

以上3つのパイプラインにより輸送された各種混合燃料は、油槽所で種類ごとに専用のタンクに移される。これらの混合燃料は特別な小型タンクに一旦移された後、仕様に応じてメインの大型貯蔵タンクに再び入れられる

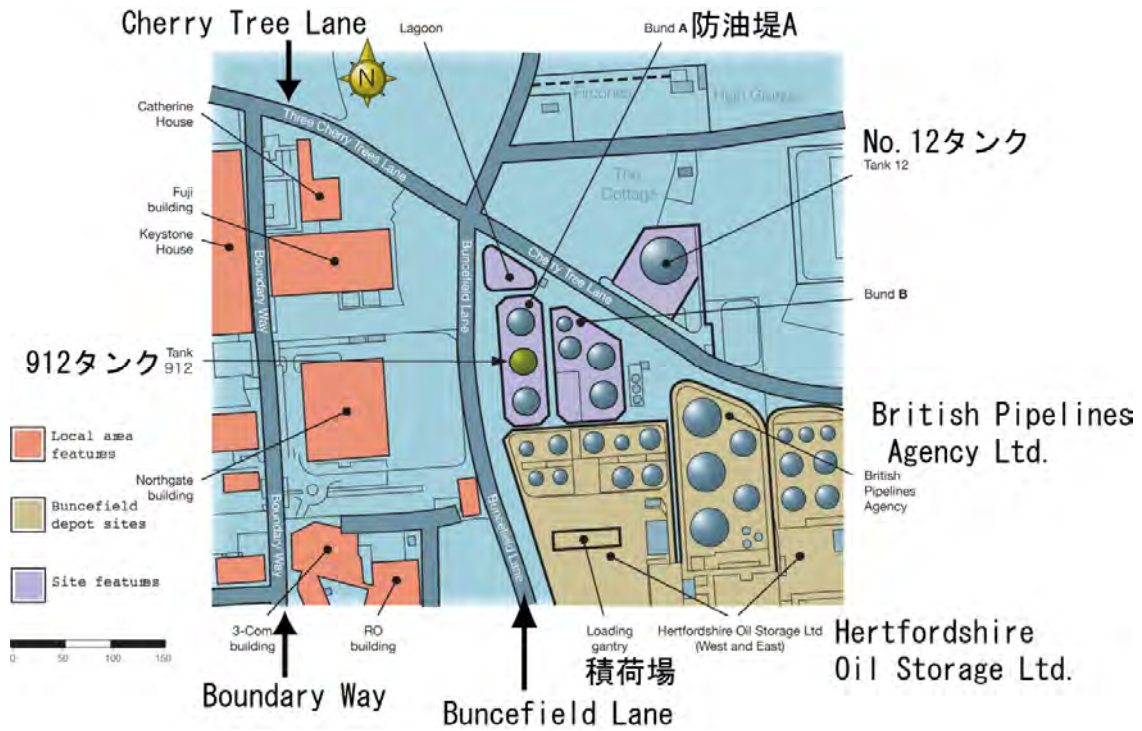


図1 バンスフィールド油槽所の配置図

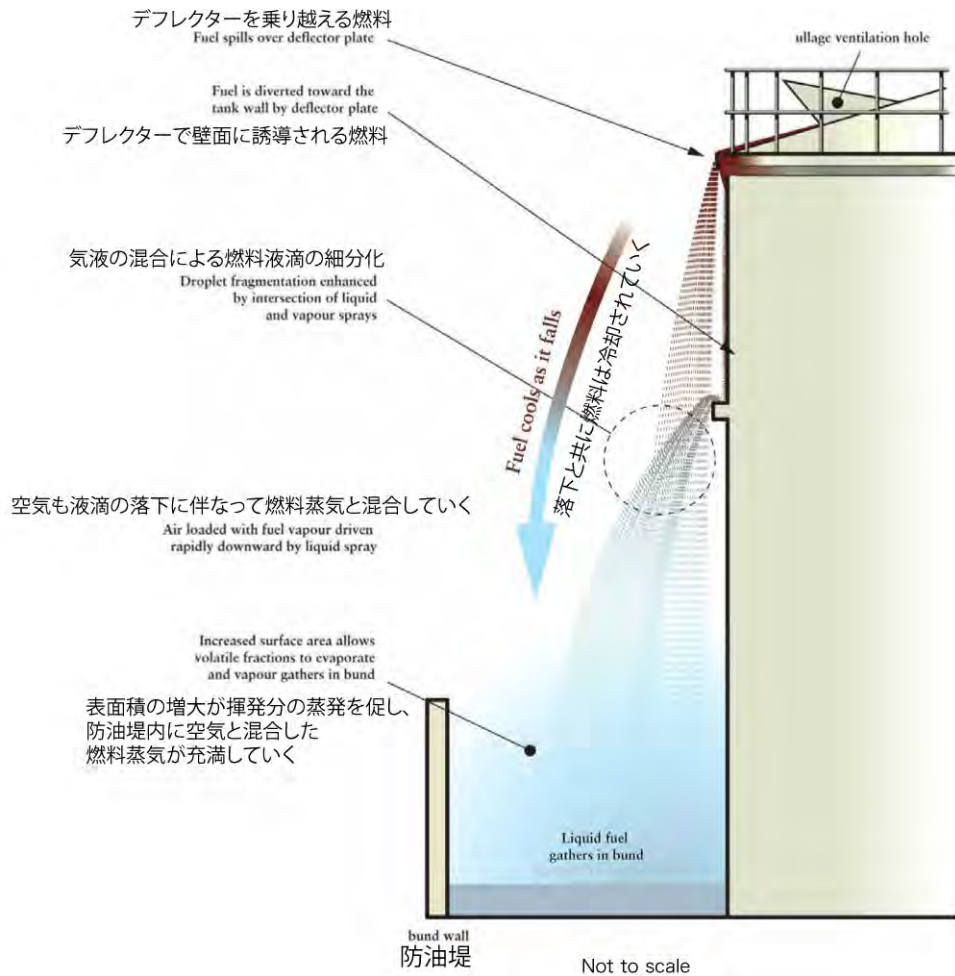


図2 燃料の拡散、蒸発の様子

か、または再精製のために精製所に返され、大型タンクに貯蔵された燃料はタンクローリーで輸送される。また、

航空燃料の場合には多くの場合、British Pipeline

Agency Limited のメインサイトから West London Pipeline までの 2 本の専用パイプラインを経由し、ヒースロー空港およびガトウィック空港に輸送される。

#### 4) 本災害の時系列事象

##### [2005 年 12 月 10 日]

- 19:00 時頃、T/K パイプラインを通して

Hertfordshire Oil Storage Limited West にある防油堤サイト A にある No.912 タンクに無鉛ガソリンの受け入れを開始。流量は毎時約 550m<sup>3</sup>。

##### [2005 年 12 月 11 日]

- 深夜 0 時頃、タンカーの入出を終えたターミナルで貯蔵量のチェックが行われたが、異常は何も報告されなかった。午前 3 時頃から No.912 タンクのレベル計の指示が動かなくなっていたが、タンクへの充填がそのまま続いていた。

- 火災後の計算では、午前 05:20 頃 No.912 タンクは満杯になり燃料が溢れ始めたと考えられる。充填を停止してくれるはずの自動停止弁システムが作動した形跡はなかった。この後空気を巻き込みながらタンク側壁から滝のように燃料が落ち始め、燃料蒸気と空気の混合気が防油堤 A 内に滞留した。

- 防油堤 A の西側に設置された監視ビデオには、防油堤 A の北西部コーナーから西方向に漏れ出した燃料蒸気が、午前 5:38 に初めて映っていた。

- 午前 5:46 に蒸気雲の厚さが約 2 m に達し、防油堤 A から四方八方に流れ出した。

- 午前 5:50 には地形の傾斜に沿って、蒸気雲が Cherry Trees Lane と Buncefield Lane との交差点近くに流れ出し、さらに西側の Northgaet House と Fuji 駐車場まで広がり、Catherine House まで達した。

- 05:50 から 06:00 までの間には、T/K パイプラインを経由して Hertfordshire Oil Storage Limited West の No.912 タンクにくみ上げられる燃料の流量が毎時約 890 m<sup>3</sup>まで上昇した。

- 06:01 には蒸気雲は西に広がり、3-Com, Northgate, Fuji ビルの間にある Boundary Way まで達し、北西にある Catherine House の手前まで広がった。北方向にはおそらく、British Pipeline Agency Limited の運営する Hertfordshire Oil Storage Limited の No.12 タンクまで達した。さらに Hertfordshire Oil Storage Limited を横切り南方向に進んだと考えられるが、タンクローリーへの積荷場までは至らなかった。西方向には British Pipeline Agency Limited まで達した。

- 06:01 に最初の爆発が起こり、続いて起きた複数の爆発と大火災に 20 を超える大型タンクが飲み込まれた。大規模な爆発は、Hertfordshire Oil Storage Limited West と Fuji and Northgate ビルの間にある駐車場で起こったと考えられる。

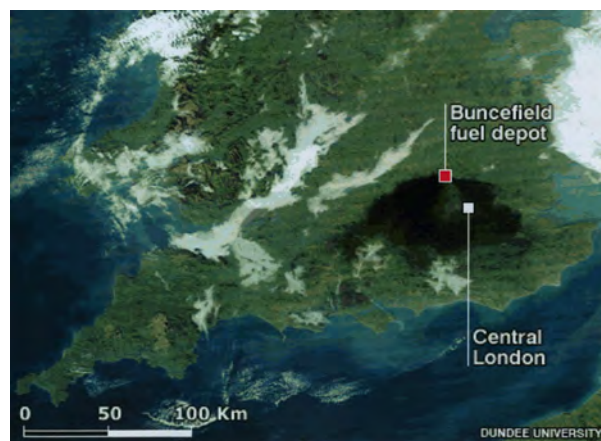


写真 2 衛星写真でみる火災の煙の拡大

- 06:08 に緊急サービスを要する大事故発生の発表が行われ、数分以内に作戦指揮統制本部が事故現場近くに設置された。

- 燃え盛る燃料からの煙がイギリス南部を越えて広範囲に広がった。数キロメートル先からも見える煙は衛星写真（写真 2）でもはっきりと確認できた。

##### [2005 年 12 月 12 日]

- 正午、火災の激しさはピークになった。

Hertfordshire のポンプ 25 基と消防車 20 台および消防士 180 名が現場で消火作業にあたった。

- 流出した燃料および消火用水(消火液)は防油堤の壁の上端から溢れ出たため、防油堤による第 2 次封じ込めは失敗に終わった。（写真 3）

##### [2005 年 12 月 14 日]

- HSE が Hertfordshire 警察から事故調査の依頼を受ける。

- 火災の高熱によって防油堤に損傷が生じ、これが Hertfordshire Oil Storage Limited West および British Pipeline Agency Limited における第 2 次封じ込めの能力を大きく減少させた。敷地の境界における第 3 次封じ込めもまた失敗に終わり、汚染された大量の液体が敷地周辺に流出した。消防サービスはできる限り多くの流出汚染物質を回収したが、地下水および表層水の汚染を防ぐことができなかった。

##### [2005 年 12 月 15 日]

- 「鎮火宣言」

- 786,000 リットルの泡消火剤および 6800 万リットルの水(5300 万リットルの上水と 1500 万リットルの回収水)が消火活動に使用され、事故は収束した。

##### [2005 年 12 月 16 日]

- 現場検証開始。主要部の捜査は危険が大きすぎるため、数週間から数ヶ月の立ち入りが禁止された。





写真3 消火作業の様子

## 5) 爆発火災のストーリー

### (1) 燃料の封じ込め失敗

爆発は Hertfordshire Oil Storage Limited West の防油堤 A 周辺から広がった蒸気雲への着火が原因であり、その蒸気雲の発生は防油堤 A 内の No.912 タンクにおける無鉛ガソリンの過充填が原因である可能性が高い。

当時稼動していた No.912 タンクおよびタンクの計測・管理システムに関する調査の結果、タンクの自動計測システムおよび警報装置に問題があることが示唆された。計測システムの性能および最大容量に達した時点でタンクの自動停止弁が機能しなかった原因については調査中である。この設備には水位および温度のモニタリングシステムおよび過充填を防止するための液面上限安全スイッチが設置されていた。しかし、事故発生の約3時間前からレベルゲージが静止していたにもかかわらずタンクに充填が続けられていた。本来、液面上限安全スイッチを入れると警報が鳴り、タンクへの充填が停止するはずであった。液面上限安全スイッチの設計に関する調査により、スイッチのテストレバーまたは鋼板の位置が重要であることが指摘されている。

これらの要素と事故との因果関係はまだ解明されていない。しかし、イギリスを含めた世界中の同様な施設で使用されている同タイプのスイッチに対する信頼性に疑問符が付いている。これについて所轄官庁は、国内の同様な施設のオペレーターに対し緊急の安全警告を発した。これは、液面上限警報システムに使用される特殊なスイッチに関するものである。またメーカー側に出された改善命令において、メーカーはスイッチの利用者および設置者にこのような問題を伝えて注意を促すとともに、修正済み取り扱い説明書の配布、スイッチの安全な使用、設置、クリーニング、メンテナンスに関する注意書きラベルを貼ることが義務付けられた。

### (2) 蒸気雲の形成

過充填により No.912 タンクから流出した燃料の動きに関する広範囲な試験が行われた。No.912 タンク上部には、火災の際の冷却のために頂部のスプリンクラーから側壁に沿って水が流れ落ちるように誘導するデフレクターが設置されている。試験の結果、デフレクターは流

出した燃料の一部をタンクの壁に導いたが、残りはデフレクターを越えて微細な液滴を生成し、空気を取り込みながら滝のように落下していった。(写真4) 壁に沿って落下した燃料の大半はウィンドガード(耐風用リング)に当たり、タンクの壁から離れ、さらに空気を取り込んでいった。



(上部から見た様子)



(下から見た様子)

### 写真4 デフレクターを乗り越える様子 (再現実験)

またこのため、燃料の成分であるブタン、ペンタン、ヘキサンなどの軽質成分の蒸発も促進された。自由落下流は空気を巻き込み、また燃料の蒸気と混合し、燃焼混合気が形成された。水蒸気を含んだ空気は冷却により、水分が析出してアイスミストを生成する。ビデオに映っていた蒸気雲はこのミストによるものである。燃焼混合気やアイスミストは空気より重いために最初は防油堤内に封じ込められていたが、タンクへの過充填が続いて体積が増加するにつれ、防油堤から溢れて敷地外に広がった。空気との混合を繰り返すことにより燃料蒸気が徐々に希釈されて爆発範囲に入り、爆発が起こったものと考えられる。No.912 タンクからの燃料溢流をシミュレートする試験が行われ、その結果から、図2に示すような燃料の拡散および蒸発パターンが確認された。

### (3) 爆発

12月11日06:01に起こった激しい爆発の引き金になったものとして、最も可能性が高いのは、Northgate ビルの南側にあった非常発電機室で起きた爆発である。激しい爆発はこの周辺で起きている。しかし、ビデオに映った映像では Fuji ビルの東側が突然明るくなっており、これは Hertfordshire Oil Storage Limited West の

貯水池東側にあるポンプ室で発生した爆発または突発的な火事と一致している。この時の映像は残っていたものの、爆発による過度の圧力のためにカメラは破壊された。つまり、ポンプ室の爆発または突発的な火事は 06:01 に発生した激しい爆発以前に起こっていたということになる。ポンプ室については科学的な調査を続けている。

爆発が非常に激しかった原因については不明である。この爆発では、現在の蒸気雲爆発の予測をはるかに上回る圧力が発生している。例えば現在使用されている方法によると、Northgate と Fuji 駐車場の間の空き地における爆発圧力は 2 kPa から 5 kPa であったと推定される。しかし実際に起こった爆発では 70-100 kPa に達し、周囲の建物に広範な被害を与えた。

流出した燃料には約 10% のブタンが含まれていたために、蒸気圧は高かった。つまり、可燃蒸気が容易に生成されることになった。ブタンの含有量は冬と夏で異なり、冬用のガソリンは蒸気圧の上限が 70kPa から 100 kPa である一方、夏用は 45 kPa から 70 kPa である。

## 6) 直接の被害

- 緊急サービスコスト £ 7.5m (消防コスト £ 3.8m, 他は大部分が警察関連のコスト)
- 企業の損害額は約 £ 70m - £ 114m.
- 16 の会社が移転し、1422 人の従業員も転勤となった。合わせて企業の移転あるいは倒産により、1200 名が職を失なった。
- 住民約 2700 名が集団訴訟を起こしている。(対 Hertfordshire Oil)

## 7) 環境被害

### (1) 大気

大気中の化学物質のモニタリング結果および爆発の煙が人の健康や植生におよぼす影響に関して、2006 年 5 月に環境食料農林省(DEFRA) から発表されている。それによると、「バンスフィールド火災の汚染物質による地上の大気に与える影響が広範囲におよぶ可能性は低い」上に、「バンスフィールド火災は土壌や草地に深刻な影響を与えるものではなく」、「国内の都市環境に見られる普通のかつ典型的な汚染レベルであった」と結論付けられている。事故当時の気象状況および火災から発生した煙の高浮力により、大気中に放出された煙の大半は上空高く拡がり、地上にはほとんど接することなく拡散した。

### (2) 土壌調査

現場の周辺では土壌への影響を調べるために、2 月から試掘坑が設けられた。まず、燃料および消火液による表層汚染が発見された。バンスフィールド貯蔵施設内における土壌汚染の範囲および程度については調査中である。コンクリート舗装および防油堤の下の土壌を調査するために、多くの試掘坑が設けられている。

### (3) 表層水および地下水のモニタリング

事故の直後に広範囲にわたる表層水のモニタリングが各所で行われた。水域環境への長期的な影響を判断するために、モニタリングは今後も継続される。また、環境

庁は事故の直後から、バンスフィールド周辺において地下水のモニタリングを開始した。その結果、消火液や燃料および燃料に関連した物質による地下水の汚染が見られた。汚染の検出後、環境庁は既存の地下水モニタリングネットワークのサンプリング場所について検討した。モニタリング用の試錐孔は既にいくつか設置されている。実施中の広範囲のサンプリングに加え、地下水の概念モデルを開発して地下帯水層内での汚染物質の移動状況を把握することにより、汚染レベルの判定をする予定である。これにより汚染が環境および人体におよぼす影響に関する評価を行うとともに、地下水や帯水層の浄化に関する最善策を決定する。

### (a) Perfluorooctane sulphonates (PFOS)

Perfluorooctane sulphonates は PFOS と呼ばれる化学物質群である。PFOS は難分解性で蓄積性のある有害物質である一方、消火泡を拡散させるための添加剤としての他、さまざまな用途に利用されている。自然環境において分解しないため、人体および自然環境の両方に広く分布、蓄積している物質である。英国内において PFOS は通常はモニタリングの対象ではないため、バンスフィールド事故前には表層水や地下水の分析が行われていなかった。PFOS のサンプリングおよび分析は容易でないため、地下水や飲料水に含まれる PFOS の許容限度量に関する確認が行われるようになったのはつい最近である。

PFOS はバンスフィールド火災の消火泡に含まれていた。事故当初は、消火液に含まれた PFOS が土壌や表層水および地下水を汚染する可能性が高いと認識されていた。環境庁などの機関は爆発直後から敷地内外における地下水および表層水のサンプルを広範囲にわたって採取し、PFOS や他の汚染物質の調査を行った。調査委員会によると、地下水や川の水質調査と異なり、飲料水の水質に関するモニタリングは地元の水道会社 (Drinking Water Inspectorate 社 以下 DWI) によって実施されている。

### (b) モニタリングの結果

事故直後の数日間にバー川とコロン川の両方から PFOS が検出されたが、すぐに環境庁の定める最小値以下に下がった。その後の試験においてこれらの川から PFOS が検出されることがあっても、事故当時またはそれ以降、魚や水生種などへの直接的な影響は観測されていない。長期にわたるモニタリングを行わない限り、PFOS や関連するフッ素化合物が環境におよぼす永続的な影響を確認することはできない。これまでの(事故から 6 ヶ月後)モニタリング結果によると、いくつかの地下水から燃料、燃料に関連する物質、消火泡の残留物が検出されたが、いずれも現場の真下および周辺からであった。環境モニタリングサンプルから 1 リットル当たり 3 マイクログラム以上の PFOS が検出されたものの(DWI の定める飲料水中の PFOS 量においては勧告レベルである)、飲料水サンプルの値はそれ以下であった。地下水の汚染の範囲について調べるには今後何ヶ月

も要するだろう。

(c) 今後

ヘメル・ヘムステッド周辺で微量の PFOS が広範囲にわたり検出されたが、その中にはバンスフィールド事故と無関係のものもあったため、環境庁は国内における地下水のサンプリングを実施し PFOS および関連する化学物質の拡散状況について調査を行っている。2006年の4月から6月にかけて、最初のモニタリングが実施された。環境庁の国内地下水モニタリングネットワークに基づき選定された場所において、地下水のサンプリングが行われている。対象地は農村、都市、工業地域より選ばれたが、消防署や航空基地など過去に消火泡が使用された可能性の高い場所なども含まれている。このようなサンプリングは約150箇所で行われる予定である。地下水にPFOSが検出された場合はサンプリングを繰り返し最初の結果を検証するとともに、その持続性についても調査する。広範囲にわたり検出された場合はサンプリング期間を7月まで延長し、必要ならば選定された化学物質をモニタリングの対象に追加する。表層水についても、2006年7月から12月の間で同様

なサンプリングを行う予定である。

### 3 おわりに

本災害のような非常に大規模な爆発火災は、幸い日本では近年起きていないが、その現象について理解を深めることは、規模は違っても類似災害を防止する一助になると考える。本報告が少しでもお役に立てば幸いです。

### 文 献

- 1) <http://www.buncefieldinvestigation.gov.uk/reports/>
  - 1-1) Initial report to the Health and Safety Commission and the Environment Agency Buncefield Major Incident Investigation Board: 2006.
  - 1-2) First progress report.
  - 1-3) Second progress report.
  - 1-4) Third progress report.
- 2) A Summary of the Buncefield Fuel Depot fire, Hemel Hempstead. S.Bennett (CAFCO) ; 24-August-2006.

## The Buncefield Oil Depot Explosion and Fire

—From the Initial Investigation Report to HSC and the Environment Agency—

by

Yasuhiro FUJIMOTO\*1

This report is a summary of the Japanese translation of the initial report to the HSC and the Environment Agency of the investigation into the explosions and fires at the Buncefield oil storage and transfer depot, Hemel Hempstead, on 11 December 2005 from the Buncefield Major Incident Investigation Board.

**Key Words:** Buncefield, vapor cloud explosion, storage tank, spill over, gasoline, PFOS.

\*1 Chemical Safety Research Group, National Institute of Occupational Safety and Health, Japan