

油脂プラント災害の安全工学的研究

—火災爆発原因の類型—

竹 下 安日児*

The Safety-Engineering Research about the Fire Explosion Accident in Oil Extracting Plants

—The Classification of Cause of Emergency—

By Yasuhiko Takeshita*

Synopsis: The *n*-hexane fire explosion accidents in the vegetable oil plants, especially rice-bran oil extracting factories in Japan, were summarized and analyzed to classify the cause of them. The fine particles of raw materials, odorless hexane and the imperfectly desolventized meal or crude oil etc. are appointed as the classes of cause to fire explosion in the plant.

要旨：日本の米ヌカ油工業を中心とする植物油脂溶剤抽出プラントの火災爆発災害原因の類型とその変遷について安全工学的に検討した。約30年間に起こった災害事例の解析を試み、近年装置の連続化に伴ない、災害は頻度を減少し、事故原因の類型は新しくなったので、その対処が安全上のポイントであることを論じた。原因の類型としては米ヌカの微粉化、ミールや原油の不完全脱溶剤等が挙げられた。

1. ま え が き

著者の属した日本学術会議安全工学研究連絡委員会
は、「広域危険を伴う産業災害防止の特定研究」というテーマで、主として火災爆発防止の特定研究を1976年以来計画したが、中でも製油プラントの火災爆発に就ては、この領域での災害防止の研究が要望されて久しい。

「油」という語は一般には水に溶けにくい液状物質を総称し、炭化水素からなる石油類と脂肪酸グリセリドを主成分とする動植物油類とに大別される。わが国の「消防法別表」では沸点や引火点の低いものが多い石油類ばかりでなく、常圧下の沸点は分解温度を越え、引火点が200℃以上と極めて高く、火災危険上の見地からは、工業上取扱われる大量の場合にはむしろ防火の効力さえ持つ動植物油類も3,000 lの指定数量で「危険物」と定められている。

しかし油脂工場の火災原因は不飽和油脂が現在ほとんど用いられない「油紙」のような状態か、油粕中に残油分が相当量存在するか、または特殊な条件下の油脂または原料の集積状態以外では、直接液状油に起因することは少ない。

「なたね」の例に見られる高油分の油糧種子の製油は、最近改良されたストレートの溶剤抽出以外は、ほとんど一次的にエキスペラで機械的に搾油され、プリプレスケーキが、油分が20%に満たない大豆などの原料と同様に*n*-ヘキサンによる溶剤抽出法で製油される。

油脂原料の取扱はますます大型化する傾向にあり、多量を集積、包装ないし運搬するケースが多いので、この種の工業における事故の中に規模が大きくはないが労働災害は少なくない。しかしながら此処では取扱規模や事故時の損害の大きい油脂抽出溶剤である*n*-ヘキサンの引火爆発災害を中心として検討する。

n-ヘキサンは引火点が低く、消防法規で指定数量100 lの危険物第4類、第1石油類として指定されているばかりでなく、労働安全衛生法規で第2種有機溶剤に指定さ

*化学教室、教授 工学博士・技術士
Professor, Division of Chemistry, Dr. of Engineering,
Consultant Engineer

Fig. 1 *n*-ヘキサンの蒸気圧曲線と爆発限界

ガスのように臭気物質を添加することも提案されるが、循環使用の点と食品添加物の衛生上の安全性のうえから実現がむずかしい。

n -ヘキサンの危険に関連する物性は **Table 2** および **Fig. 1** のとおりである。¹⁰⁾

4. 油脂工場爆発災害の重大性

化学工業における業種別、料品別爆発事故のうち1958年(昭33)～1969年(昭44)の労働省産業安全研究所、内藤⁹⁾の資料に基づく集計によれば、引火性液体の爆発は124件、全体に対して36.0%に相当し、このうち植物油脂製造業の事故は n -ヘキサンの引火爆発14件、原油関係1件で計15件、4.4%にあたる。これは煙火関係(最高)11.3%、石油化学8.1%等より少ないが、石油精製業(4.0%)や産業火薬類製造業(3.5%)より上位にあって、順位としては第8位であった。さらにその後の1970～1972年の間の3年間に数字は却って増大の傾向を示した。

油脂工場の爆発事故に関連を持つもののある粉塵爆発⁹⁾はうえの3年間に7%を示したが、これを最近の10年間について比較すると**Table 3**のとおりで、 n -ヘキサン爆発の発生密度は粉塵爆発より小さいが、1件あたりの死者数と、死傷者に対する比は大きいことが認められる。

また油脂工場爆発事故に伴って粉じん爆発が二次的に発生すること²⁷⁾を考え合せると事態は一層重大である。

Table 3 化学工業における粉塵爆発と油脂工場でのヘキサン爆発事故との比較

災害の種類	該当期間	年 間 平 均				
		件数	死者	負傷者	1件当り死者	死者/死傷者
化学工業全体での粉じん爆発	1966(昭41) ? 1975(昭50)	7.5	4.2	23.4	0.6	4.2人 27.6人
油脂工場 n -ヘキサン爆発	1967(昭42) ? 1976(昭51)	1.1	1.1	2.4	1.0	1.1人 3.5人

5. 最近の油脂プラント火災爆発事例

安全工学の立場から災害事例の記述は学問的体系化の前提となるので、植物油脂プラントの爆発災害で公開された資料²³⁾と著者による資料とを再配列して付表として列記し、これをもとに1967年(昭42)以降、1976年までの10年間の事例と第二次大戦直後の1947年(昭22)～1966年(昭41)の間の20年について比較検討するとつぎ

の第6節のとおりである。

6. 爆発事故の分類

前節に指摘した11件の事故例を分類すると**Table 4**のとおりである。表中()内は対応する戦後の20年の災害件数を示した。

Table 4 最近10年間の油脂プラント爆発災害類別
() 内は戦後の20年の災害件数

処理原料別	被災抽出プラントの種類		合 計 (件)
	連続抽出 (件)	バッチ、バッテリー (件)	
大豆	2	1	3(37)
米ヌカ	2	5	7(9)
雑原料	—	1	1 (大豆と共通)
計	4(4)	7(42)	11(46)

(注) タンク爆発の事例は連続抽出機の製品である脱ガム油のタンクであったので連抽欄に繰り入れた。

すなわち原料別の区分を1947～1966年の20年間についてみると、大豆および雑原料工場の37件、米ヌカ油工場9件がある。つぎに連続抽出工場関係の事故は、ミセラ連続蒸留による n -ヘキサン除去不完全な原油によるタンク爆発を加えて4件に止まり、他はすべてバッチ式またはバッテリー式溶剤抽出工場に関連するもので、その数は42件に達した。

また以上20年の事故全体について最近の10年の事故との比較をすると、原料別に見て米ヌカ油抽出工場の爆発事故が、むしろ最近の何年かに事故件数の密度を増大している。

事故件数の連続抽出工場がバッチ、バッテリー式工場に対する比率が前の4/42から最近増大して4/7となっていることは、連続抽出方式の普及とプラント数の増加に対しバッテリー式工場の数の激減とによるものと見られる。最近、米ヌカ油抽出工場では連続抽出方式の普及が顕著で、全国的に米ヌカ油製油プラントは約42セットと見られる中で13セットが比較的处理能力の大きい連抽プラントとなって来た。そのキャパシティは150 t/day程度の原料処理である。そして大豆油工場では連抽式のバッテリー式に対するプラント数の比率は圧倒的に大きくなって来た。

一般に連続抽出プラントは自動制御しやすく、マニュアルなパルプの開閉操作は運転のスタートと停止の際に限られその回数が少なく、結果として従来の事故の主な原因となった「誤操作」の可能性が極めて小さい。

つぎに現在連抽プラントでの事故としてタンク爆発などの原因になっているのは、原油や脱脂粕の脱溶剤が不完全なとき、*n*-ヘキサンが系外に持ち出される場合であって、使用するスチームの圧力変動、不安定などによって起る現象であるから、原因の除去は困難ではない。しかし、不測のうちに原油中に残留する*n*-ヘキサンの量は無視しがたいものがあり、ある連続抽出プラントで製造された市販米ヌカ原油中の*n*-ヘキサン含量を著者の考案した分析器具を使用して水蒸気蒸留法に基づいて検べたところ **Table 5** のような分析値が得られた。もちろん正常な原油では溶剤分0.0%以下が普通である。

Table 5 米ヌカ原油中の異常溶剤含量の分析例

ロットNo.	酸 価	水 分	溶 剤 分
		%	%(vol/wt)
1	31	0.5	0.6
2	28	0.2	0.6
3	20	1.4	0.5
4	31	1.1	0.6
5	33	0.5	0.9
6	30	0.2	1.3

7. 事故原因の類型と変遷

田口²⁾のあげた事故の状況を一定期間について取りまとめ、連続抽出方式の普及する前の時期すなわち1966年までの20年間の事例の原因の類型と、さらに最近1967～1976年にわたる10年間の事例について、これを()内に示して事故原因類型の変遷を見ると **Table 6** のとおりである。

Table 6 の結果から戦後の約20年では田口が指摘したとおり、事故原因はパッチまたはバッテリー抽出缶およびパッチ式蒸留缶等の異常加熱とこれに伴う加圧による

Table 6 戦後20年と最近10年との状況別、点火源別原因の類型比較

()内は最近10年の事例。

点火源の種類	引火性溶剤の状態 抽出缶等 溶剤への引火	装置、配管等 より漏れ溶剤への引火	粕取出中 粕中の残留溶剤への引火	装置、タンク 配管内の残留溶剤への引火	その他	合計 (件数)
火 炉	4(0)	1(0)	6(1)	0(0)	1(0)	12(1)
電気設備	2(0)	1(1)	2(3)	7(1)	0(0)	12(5)
そ の 他	8(0)	6(2)	2(2)	2(1)	2(0)	20(5)
合 計	14(0)	8(3)	10(6)	9(2)	3(0)	44(11)

装置の一部の破壊が起り、*n*-ヘキサンまたはミセラーが逸出して何らかの火源で着火するケースが最も多いが、この類型は圧力安全弁またはインターロックによる異常加圧の防止で完全に姿を消した。これに対して最近の10年間は脱脂粕中の残留溶剤の引火、しかも電気設備によるものが比率の上で増大した。このことは米ヌカ油抽出工場の事故比率および連抽機の普及に関係していることは **Table 1, 4** および **5** などからも推定される。米ヌカ油工場は戦後のブームから一時全国僅か数工場が稼動した時期を経過して、現在42プラントが稼動(**Table 1**) していて、大豆と雑原料を合せたプラント数30セットを凌ぐ状態である。爆発災害の数もプラント数に応じて増大する要素もあるが、連抽化によって災害発生率は減少の方向にある。しかし最近の米ヌカ製油についてのコストと安全上の問題点は原料米ヌカの微粉化傾向である。いま集中精米工場における「コンパス」などの新型精米機によって発生した米ヌカの粒度を従来方式のものと比べると **Table 7** のとおりである。

Table 7 最近の米ヌカの粒度

粒 度	集中精米所 米ヌカの例	従来の粒度 の米ヌカ
メッシュ	%	%
10上	0	0
20	8	10
40	16	40
60	17	30
100上	23	15
100下	36	5

この表の値のように米ヌカの粒度が小さくなることは溶剤抽出操作のうえからはホールドアップ溶剤が増加し、安全とエネルギー消費上甚だ不利なことである。これを防ぐため Anderson の方法¹¹⁾ もあるが、Lurgi, Desmet¹²⁾ など外国の方式では原料米ヌカの2～3mmφのペレット化を試み、わが国では特殊なクッキングにより粒度を改善する方法が開発され、最近プラント操業上成果をあげている。

7.1 近年の製油工場爆発災害原因の類型

以上の事例解析から近年の事故原因としてはつぎの類型があげられる。

A. *n*-ヘキサンガスの発生は

- i. 脱脂粕の脱溶剤不完全
- ii. 原油脱溶剤不良
- iii. パルプ操作の誤りによる溶剤漏洩(連抽以外)
- iv. 原料油糧種子の粒度微細化に伴うチャンネルリング、ホールドアップミセラの増加、ミセラ

の固形微粒子による汚染(生ヌカの造粒処理の無いとき)

B. ガス検知については

n-ヘキサン品位向上による無臭化

C. 着火源(従来の火炉, 一般電気設備等のほか)

- i. 自動制御用機器不完全による電気接点のばく露
- ii. 抽料または使用流体による静電気
- iii. 自然発火(不良油粕など)
- iv. その他

従来のパッチまたはバッテリー方式の抽出プラントに見られた「抽出缶や蒸留缶の一部破壊による溶剤やミセラの逸出」などの事故原因類型は, 完全な防止対策樹立により見られなくなり, その結果うえにあげた類型が今日の連続抽出方式においても主要なものとなった。

8. 結 び

植物油の溶剤抽出工場における爆発火災による災害は最近その形態が新しくなったので, その原因の類型の変遷をしらべて発生防止の示唆とした。激減したこの種災害の中で一部に見られた米ヌカ油の溶剤抽出工場の爆発原因についてはその類型として, 米ヌカ粒度の微細化および連続脱溶剤工程での, 特に中小ボイラによる不安定蒸気圧などによる脱溶剤不完全の解決が災害予防の一つの手だてとして示唆される。

謝辞 本報は日本学術会議安全工学シンポジウム(1977)で研究発表し, 日本および米国化学会国際学会(1979, ハワイ)での招待講演の内容に加筆したものである。

難波桂芳東大名誉教授, 労働省安研・田口昇, 内藤道夫両部長に指導ならびに資料提供について感謝する。

(原稿受付 昭和56年9月30日)

文 献

- 1) Threshold Limit Values for 1981: American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
- 2) 田口 昇: 製油工場の爆発災害と安全対策, (I), 油脂20, (12), 99(1967); (II), 同前21, (1), 117(1968); (III), 21, (2), 110(1968).
- 3) 産業安全研究協会: 爆発災害事例集—1967~'71年末までの主要なもの。(1972)
- 4) 難波桂芳: 化学工場災害の内外の比較, 日本化学会, 化学工業の新たな発展を模索する講演会, 講演要旨 p. 29 (1977).
- 5) Y. Takeshita: "Recent Advances in Rice Bran Oil Processing," Transactions of the Kokushikan Univ. Dept. of Eng. No. 5, p. 1 (1972).
- 6) T. W. Smalling: General Safety in Handling Solvents, J. Am. Oil Chemists' Soc. 42, (4), 162A₁ (1965).
- 7) von K. Weber: "Rückgewinnung von Lösungsmitteln aus der Abluft", Fette, Seifen, Anstrichmittel, 74, (10), 605, (1972).
- 8) 内藤道夫: "工場の中での爆発と対策", 労働の科学, 30, (7), 17 (1975).
- 9) 内藤道夫: "粉じん爆発の事例", 安全工学, 14, (4), 323 (1975).
- 10) 竹下: "日本化学会防災指針 *n*-ヘキサン" 化学と工業, 33, (2), 151 (1980).
- 11) Mawrice Williams & Sheldon Baer: J. Am. Oil Chemists' Soc., 42, (2), 151, (1965).
- 12) 竹下ら: 国土館大 工紀要 No. 8, 55 (1975).
- 13) 竹下: "有機溶剤の処理対策と回收利用", 試験研究機関・総合病院における廃水・廃ガス・廃棄物対策資料集, p. 224 (1976) (フジテクノシステム東京).
- 14) 労働省産業安全研究所: "静電気安全指針" 安研 (1978).

(付表) 植物油脂溶剤抽出工場の火災爆発災害事例一覧表

<p>(事例1) 1967, June 22, am 8: 50 Rice Oil, 損害額 2,200万円, 死2, 傷7。</p> <p>抽出工場でスチームトラップのパイプの切断中, アセチレン切断用バーナを点火したとき, 漏洩していたn-ヘキサン蒸気に引火爆発した。これは抽出缶から漏洩していたもので, 爆発は米ヌカ粉じんの爆発も誘起した。</p>	<p>(事例7) 1970, Nov. 30 pm 4: 30 Rice Oil, 死2。</p> <p>n-ヘキサン残留の脱ガム油貯蔵タンクに鉄製の昇降用梯子をアーク溶接器により溶接作業中, n-ヘキサンに引火爆発し, 作業員2名が吹き飛ばされた。同タンクにはn-ヘキサンが残留している 脱ガム油が9,900 l 入ったままでしかも給油中溶接作業を行ったことが爆発原因である。</p>
<p>(事例2) 1967, Aug. 10, pm. 9:00 Rice Oil, (損) 2,200万円, 死1, 傷2。</p> <p>米ヌカ油の抽出工場で抽出缶から脱脂粕を取り出したのち, 粉碎機にかけるべく別室のスイッチを入れた際, 脱脂粕から蒸発した n-ヘキサン蒸気に引火, 爆発した。</p>	<p>(事例8) 1971, March 10, pm 10: 30 Rice Oil, 死2, 傷2。</p> <p>抽出工場で n-ヘキサントタンク が爆発し火災となった。原因ははっきりしないが, 工場内に漏れた n-ヘキサンの蒸気が何らかの点火源から引火したものである。なお米ヌカ粕の粉じん爆発も生じている。電気設備は防爆型ではないという。</p>
<p>(事例3) 1967, Aug. 16, pm 1: 50 Castor seed, (損) 不明, 死1。</p> <p>ひまの搾油粕に含まれる約7%の油分を n-ヘキサンで抽出作業中, 粕の取出時期を誤まり, n-ヘキサン含有の粕を取出したため n-ヘキサンが 室内に漏れ, なんらかの原因で爆発した。</p>	<p>(事例9) 1974, Sept 4, Rice Oil, 傷2。</p> <p>抽出缶から脱脂ヌカ排出中, 送入先のバルブの開閉をあやまり, 溶剤を漏洩した。この n-ヘキサンガスがたまたま開放されて通じていた隣室のコンプレッサーの電気接点の火花で着火したものと見られる。</p>
<p>(事例4) 1967, Nov. 27 pm 3: 32 Soybean, (損) 2,240万円, 死2, 傷1。</p> <p>連続抽出による大豆抽出工場の運転開始に当り, 実際に溶剤を通す作業を始めたところ, 溶剤の地下タンクから抽出機に至る配管の途中にあるソルベントヒータより n-ヘキサンが漏れ, 次々と拡大し構内数ヶ所の溶接火災から引火爆発した。n-ヘキサンの流出原因はデカンタータンクの構造とその扱い方に不良の点があったためである。</p>	<p>(事例10) 1975, Rice Oil, 死1。</p> <p>米ヌカ油連抽プラント修理の溶接作業中, 脱脂ヌカ貯槽からの残留ガスが流入し, これに引火爆発し, 作業員が死亡した。</p>
<p>(事例5) 1968, January 25, am 10: 30 Soybean, (損) 2,090万円, 傷1。</p> <p>大豆原料中の油を n-ヘキサンにより抽出する工程で溶剤回収系パイプの腐食から n-ヘキサンが漏れ, 付近の計器室に流入, 電気設備(電磁開閉器)のスパークにより爆発したものである。</p>	<p>(事例11) 1976, March 25, Soybean, 傷4。</p> <p>大豆抽出缶周辺のバルブ操作の誤りのため発生した溶剤ガスに何らかの原因で引火爆発した。</p>
<p>(事例6) 1968, March 11, pm 4: 10 Rice Oil, (損) 不明, 傷5。</p> <p>抽出作業中, 抽出缶付近で発火, 爆発。その爆風により破損したミセラタンクのレベルグラスの取付部より噴出したミセラに引火して火災となった。原因は缶出しを終わった粕から n-ヘキサンが完全に除去されていなかったため漏洩し, 偏心したシャフトのジョイント部分の摩擦により着火したものと推定される。</p>	

注) 始めの8つの事例は主として文献⁹⁾の内容に多少の訂正を加えた。事例9以下は直接の調査資料¹⁰⁾による。