

環境にやさしい打ち揚げ花火

井奈波良一

岐阜大学大学院医学系研究科産業衛生学分野

(平成 27 年 5 月 28 日受付)

要旨：環境にやさしい打ち揚げ花火に関する文献研究を行った。わが国では、環境に優しい打ち揚げ花火材料として、パルプモールド製の玉皮と生分解性樹脂製の玉皮が販売されていることがわかった。水による早期の分解について、前者は実際には確認できなかったが、後者は確認することができた。米国で、甲状腺に問題を引き起こす疑いのある過塩素酸塩を使わず、煙が少ない花火が開発された。また、わが国には、花火の安全化技術の革新のために、ロケットの安全技術を導入した事例があった。以上のように、環境にやさしい打ち揚げ花火の開発は進んでいるが、現状では、コストの問題で普及が阻害されている。

(日職災医誌, 64 : 213—216, 2016)

—キーワード—
花火, 環境保護

はじめに

著者は、これまで花火の健康への影響や花火の事故について文献調査し報告してきた^{1)~3)}。

打ち揚げ花火は、打ち揚げ筒と打ち揚げ用の火薬「揚薬」によって「花火玉」と呼ばれる火薬のつまった玉を打ち揚げ、それが上空で開発（花火玉の爆発）して「星」と呼ばれる火薬の粒子を周囲に飛散させる方法を用いている⁴⁾。

花火玉の基本構造は、紙製の球形容器（玉皮）の中心部に「割薬」と呼ばれる火薬が詰められ、その周囲に「星」が充填される⁴⁾。

玉皮は、古くは和紙を糊で貼り重ねて製作されていたが、近年はクラフト紙を主としたプレス成型によって製造されている。玉皮には打ち揚げ時の高温高压ガスと発射衝撃に十分に耐えられる強度を有しながら、上空での開発時には容易に破断する力学特性が求められる。花火玉は、その大きさに応じて上空 100m から 500m に打ち揚げられ開発し、燃え尽きなかった玉皮は破片となって地上に落下する⁴⁾。破片は、尺玉（直径 30cm）など大きな花火では 1kg 以上になる場合があり、過去には破片が見物客に当たる事故が発生した事例がある⁵⁾。2002 年に北海道音更町の十勝川河川敷で開催された花火大会で 2 尺玉の打ち揚げ花火の玉皮が落下、観覧スペースで見学していた女兒の頭を直撃し死亡する事故が発生している⁶⁾。このような重大事故を防止するために破片はできる

限り小さくなることが望まれる⁴⁾。さらに地上に落ちた破片は環境保護の観点から通常は回収されるが、多くの労力を要し、回収できなかった破片はゴミとなり環境に影響を与える恐れがある⁴⁾。著者も、数回、花火大会翌朝の清掃活動に参加し、破片を回収した経験がある。

したがって、今後、打ち揚げ花火を改良し、環境への影響を少なくしていく必要がある。そこで、著者は、今回、環境にやさしい花火に関する文献研究を行ったので報告する。

パルプモールド製の玉皮

日本の花火はもともと環境にやさしいもので、大量消費になって変わってきた部分もあるが、花火の材料自体は、新聞、使わなくなった和紙、割薬には籾殻や綿の実、ひのきなど、自然にあるもの・余ったものをうまく組み合わせられて作られている⁷⁾。玉皮は、従来、ボール紙や新聞紙で作られ、その破片も、水がつくと、数週間～数カ月で分解していく⁷⁾。

近年、エコ素材として注目されているパルプモールドは、原料の古紙・パルプを溶解処理後、成型型を用いて植物性繊維をすき上げてつくる紙の立体成形品のこと、水に溶けやすく、自然分解されやすいという特徴を持つ⁸⁾⁹⁾。花火関係でも、パルプモールド製の玉皮や花火打ち揚げに使う筒のふたなどがある⁹⁾¹⁰⁾。パルプモールド玉皮は、従来のプレス加工玉皮と比較して、水に溶けやすく（分解しやすい）、広範囲に飛散しにくく、ゴミの破

片が小さく、防水剤が入っているため湿気による形状変化が少なく、継ぎ目、紙の重なりがないため、外部からの衝撃を受けにくく、形状変化しにくいとされている¹¹⁾。パルプモールドは、製造過程で接着剤などの薬品を使うことがなく、また、製造時低温で乾燥するため、石油燃料などをほとんど使わず、製造時に発生するCO₂を抑制する⁹⁾。

そこで著者は、パルプモールド玉皮が実際に水に溶けやすいか否かを確かめるため、実際の打ち揚げ花火に使われる市販のA社製とB社製のパルプモールド3号玉皮(外形81mm, 内径77mm, 紙厚2mm)¹⁰⁾¹¹⁾を購入し、2015年1月から5月にかけて、1/2球、1/4球、1/8球、1/16球、1/32球、1/64球にした玉皮を水の入った透明のボウルに投入し、90日間観察した。水温は、1日2回、午前6時頃と午後6時頃に測定した結果、5℃~25℃であった。球が水没するまでの日数は、A社製とB社製共に、球が大きい程長く、A社製の玉皮では、23日~30日で水没した。一方、B社製の玉皮は、3日~20日で水没し、A社製より短かった。投入後、A社製の玉皮では、水は濁らなかったが、B社製の玉皮では、水を交換する度に、数日で水が濁り、腐敗臭様の臭いがしたが、しばらく日が経つと水が再び澄んできた。ボウル壁に薄い膜も観察された。これは、溶け出した玉皮成分がボウル壁に付着したためと推定される。90日後の外形は、A社製の玉皮では、球の大きさにかかわらず、見た目では何の変化もなかった。一方、B社製の玉皮では、球の辺縁部分の変形がわずかではあるが観察された。以上のことから、B社製の玉皮については、どの部分かはわからないが、水に多少は溶けると考えられる。しかし、いずれにせよ、本実験からは、パルプモールド玉皮が水に溶けやすいとは必ずしもいえない。今後、流水での検討が期待される。

生分解性樹脂製の玉皮

工藤(秋田県産業技術総合研究センター)ら⁴⁾は、株式会社セーコンおよび小松煙火工業株式会社の協力を得て、土壌中の微生物によって分解可能であり、また植物由来の原料を用いるなどの資源循環型材料である生分解性樹脂と米粉を用いた安全と環境に配慮した玉皮を開発した。生分解性樹脂(ポリブチレンサクシネートとデンプンを主原料としたデンプン脂肪酸エステル)に米粉と相溶性のない異種の生分解性樹脂(水溶性のポリビニルアルコール系樹脂)を混合することによって力学特性と脆性破壊材料に改質し、破片の形成に影響を与えることを見出した。この混合した生分解性樹脂材料で製作した玉皮は、爆発による大きな歪み速度により脆性破壊し破片は細分化され小さな破片となる。その大きさは、1gf程度と非常に小さくなり、またその破片からは花火作製時に貼り合わせたクラフト紙が剥離しており破片重量も小さくなると考え、破片飛散時の運動エネルギーも

減少し、破片による事故防止、安全性向上が図られると推察している。生分解性樹脂製玉皮を用いた花火の星の移動は、破片が細分化されているため、障害となることなく球状に飛散することができると考えている。実際に打ち揚げた花火は、より真球に近い花火として鑑賞することができることが確認されているとしている。

著者が、この玉皮を実際に使用している(株)柿木花火工業の柿木博幸氏¹²⁾を訪問取材したところ、カップに入れた水に浸けた玉皮の破片を供覧しながら、生分解性樹脂を用いた玉皮の破片は、3時間~4時間、夜打ち揚げて朝になくなってしまいうような早い分解が可能である(著者も確認済み)。しかし、この高分解の玉皮は、空気中の水分でも分解が始まるため、梅雨時などは、周りの湿気を吸ってどんどん分解していき、玉皮の強度自体も落ちる上に、管理をしっかりとしなければ、玉皮が膨らみ星の間に空洞が生じるなどのリスクを抱えることになる。そこで、花火の玉を乾燥剤(シリカゲル)とともに、塩化ビニル製の袋に入れ、時にはさらにアルミを蒸着した袋をかぶせて二重三重に管理を行うなど、細心の注意を払い、半年もたせていると話した。

前述のように玉皮内に星や割薬などが充填された花火玉には、花火が開くとき圧力が均等に掛かって丸く開くために、丁寧に糊付けされたクラフト紙が、隙間が来ないように何枚も慎重に貼られる⁴⁾。柿木は、この工程が済めば、生分解性樹脂製の玉皮を用いた花火玉でも、特段何もすることなく3年は保管できると話した。しかし、クラフト紙は分解し難いため、ゴミになり、今後、代替品の開発が期待される。柿木は、この点についても、ヨシ紙で、試験中とのことであった。

柿木¹²⁾は、生分解性樹脂を用いた玉皮普及の障害になりそうなことは、①玉皮の保管が簡単でない、②材料費が従来品の5倍かかるため、結果的に製品全体の値段が約20%押し上げられる、③従来の花火と同じ趣を出すため、玉がバランス良く開発するように、星の並べ方や割薬の爆発力の強弱を調整する必要があることだとしている。

実際、著者が、2013年8月に(株)セーコンへ訪問取材したところ、この玉皮はまだ、7社で使用されているにすぎないとのことであった。

綿の実や米粉などを使わない割薬

従来の綿の実や米粉などを使用した割薬は、花火打ち揚げ後、燃え切らずに地上や水面に約5mmの黒いかすになって落ちてくる¹²⁾。柿木は、花火はグラウンドや道路で打ち揚げられることも多く、黒く焦げた殻の部分が白い砂が敷いてあるグラウンドに落ちると結構目立つ。そこで、黒いかすが残ってしまう割薬を、独自の工夫をして、とある雑草(企業秘密)の種を使い、1mm程度の目立たないすすにし、ほとんどかすが残らないようにした

と話した。

剪定廃材や花火ゴミの利用

鎌倉花火大会では、2014年から全体の中の10発であるが、山、家庭、寺社教会から切り出した剪定廃材をもとに火薬（炭）を作って木炭燃焼色のみの「和火」という黒色花火にし、花火打ち揚げに関して出るゴミを回収して、翌年の花火の材料とする試みが始まっている¹³⁾。

過塩素酸塩を使わない花火

米国のロス・アラモス国立研究所の化学者のChavez, Hiskeyら¹⁴⁾は、毒性の少ない金属を使用し、煙を少なくする花火製造術を開発した。前述のように過塩素酸塩を含むイオンは花火の酸化剤として用いられる。花火研究開発会社のHiskey¹⁴⁾によれば、カリウムやアンモニウムの過塩素酸塩は、動物実験で甲状腺に問題を引き起こすことが示されている。Wilkinら¹⁵⁾の調査では、オクラマ湖で行われた独立記念日の花火大会14時間後に、湖水面の過塩素酸塩のレベルが最大で通常の1,000倍に上昇し、上昇前のレベルに戻るのに20~80日もかかった。実際の悪影響の有無についてはさらなる議論が必要ではあるが、代替となる化学物質があらたに考案された。例えばHiskey社が開発した花火¹⁴⁾は、燃料を従来の炭素ベースにかえて窒素をベースにし、酸化剤として硝酸塩を用いた花火であり、過塩素酸塩の使用は不要になる。この新しい花火では、消化管や心臓に対して毒性のあるバリウムの量も、従来の花火と比べて10分の1になっている。また、煙の量も従来の花火より抑えられ、健康面の他に、より花火が見やすくなるという利点があるとしている。しかし、現在はコストの問題で普及は難しい状態にある。

わが国の過塩素酸塩を使わない花火開発の現状について火薬および爆発性物質の安全研究に携わっている産総研つくばの安全科学研究部門の松永猛裕高エネルギー物質研究グループ長¹⁶⁾¹⁷⁾に問い合わせたところ、開発中ではあるが、まだコストの問題があり、完成していないとのことであった。

ロケット技術を使った花火の安全化

前述の松永¹⁶⁾¹⁷⁾は、花火の安全化を目的に、補助ロケットに詰められている固体ロケット推進薬用バインダー（原料の粉体の結合剤）を用いたポリマー成形花火を作成した。

酸化剤の過塩素酸アンモニウムと可燃材であり効果剤（花火の色、煙などを発生させる物質）でもあるアルミニウムだけを粉体のまま混合すると、非常に感度が高く、爆発しやすい性質を持っている。これを爆発せずに安全に取り扱えるようにしたのが、バインダーの役目で、粉体同士を分離するとともにクッションの役目を果たす。

さらに、バインダーは可燃剤の役目を同時に果たしている。すなわち、固体ロケット推進薬は、爆発する物質を爆発させることなく、上手に燃焼させている¹⁶⁾¹⁷⁾。

ロケットでは、気体の発生を多くするために過塩素酸アンモニウムを使うが、花火では過塩素酸カリウムを主に使う。花火もポリマーで固めてしまえば、爆発することなく、燃焼すると考え、固体ロケット推進薬で実際に使われている末端が水酸基であるポリブタジエンというポリマーに硬化剤を加えてポリウレタンとし、これをバインダーとして花火を作成した。うまく燃焼するように組成比を調整したところ、本物の花火のように燃やすことができ、爆発の危険性も格段に低くなった。花火は、これまで、原料を水に溶かした後で、天日で乾燥させるという方法で作ってきたため、大きな花火を作るためには、長時間、危険な作業を続けなくてはならず、天日乾燥中の事故も起こっている。これに対し、ポリマーで化学的に固める方法は、大きな花火でも室内で安全かつ迅速に作るができるとしている。さらにロケットはハイテク技術の集積といわれており、安全技術についても最先端の研究が行われていることから、今後とも、花火の安全化技術の革新のために、ロケットの安全技術を積極的に導入すべきだともしている¹⁵⁾¹⁶⁾。

ポリマー成形花火は、従来の花火師の技術と大きく異なるため、現時点では普及していない。しかし、松永は、この技術と前述の（株）セーコン製の生分解性樹脂製玉皮を使って、直径1cmの世界最小打ち揚げ花火作成に成功した¹⁶⁾¹⁷⁾。

おわりに

環境にやさしい打ち揚げ花火の開発は進んではいるが、現状では、コストの問題で普及が阻害されている。花火が伝統芸術であることや殆どの花火興行主が経費削減に取り組んでいるため、この問題を解決するためには、安価な新しい酸化剤を開発したり、過塩素酸カリウムから発生する塩素を中和する安価な方法や生成する金属化合物を水に溶けなくする安価な方法を開発するなど科学的なアプローチが必要であろう¹⁶⁾¹⁷⁾。

謝辞：取材を手伝ってくれた広瀬万宝子氏、加野准子氏に感謝の意を表す。

利益相反：利益相反基準に該当無し

文 献

- 1) 井奈波良一：打ち揚げ煙火と健康。日健医誌 20 (4)：214—217, 2012.
- 2) 井奈波良一：花火と事故。日職災医誌 61 (5)：319—323, 2013.
- 3) 井奈波良一、田中 耕：花火と大気微少粒子状物質(PM 2.5)。日職災医誌 62 (2)：94—95, 2014.
- 4) 工藤 素、村田健司、鎌田 悟、濱田文男：生分解性樹脂を用いた煙火用玉皮の破片細片化に及ぼす力学特性の研究

- 究. 成形加工 21 (3) : 153—160, 2009.
- 5) 経営探訪 株式会社セーコン. 生分解性樹脂を利用した「環境にやさしい花火の玉皮の開発」～環境・安全という視点から新しいものづくりに挑む～. <http://www.bic-akita.or.jp/magazine/vol.307/keiei.html>, (参照 2015-01-26).
- 6) 学校たんけん隊 レジャーでの事故. <http://www5d.biglobe.ne.jp/tanken/danger/case1/cal-rec.htm>, (参照 2015-01-26).
- 7) 損保ジャパン日本興亜 Eco Action World : 第101回 地元を思う気持ちを込めて! エコ花火! 2012/07/14. <http://www.tfm.co.jp/ecoaction/index.php?itemid=53473>, (参照 2015-01-26).
- 8) パルプモールド. EIC ネット 環境用語集. <http://www.eic.or.jp/ecoterm/?act=view&serial=2212>, (参照 2015-01-26).
- 9) 株式会社國友銃砲火薬店 : 花火でエコ(環境)を考える. http://www.kunitomogs.jp/enka/Hanabi/tech_info_03_kankyou.htm, (参照 2015-01-26).
- 10) A の玉皮とは? <http://nanairo-hanabi.com/contents/NO-D11/>, (参照 2015-01-26).
- 11) B 花火玉皮. http://www.fugetsu-shop.com/goods_48023800.html, (参照 2015-01-26).
- 12) 高久 潤 : 夏空彩る「エコ花火」好評燃えかす自然分解 滋賀. 朝日新聞 DIGITAL 2008/09/01. <http://www.asahi.com/eco/OSK200808300005.html>, (参照 2015-01-26).
- 13) 「はせのわ」暮らし部 : 鎌倉花火大会スタートします. 2014/07/23. <https://www.facebook.com/hasenowa.kurashibu/posts/350853025067574>, (参照 2015-01-26).
- 14) Sohn E: Fireworks to become a little greener. ABCScience 2009/06/03. <http://www.abc.net.au/science/articles/2009/07/03/2616277.htm>, (accessed 2015-01-26).
- 15) Wilkin RT, Fine DD, Burnett NG: Perchlorate behavior in a municipal lake following fireworks displays. Environ Sci Technol 41: 3966—3971, 2007.
- 16) 松永猛裕 : 安全で高性能な花火の探求. Electronics Communications 25 : 13—18, 2009.
- 17) 松永猛裕 : 花火の安全化・高性能化へのチャレンジ—ポリマー成形花火, 火薬のはなし. 東京, 講談社, 2014, pp 175—181.

別刷請求先 〒501-1194 岐阜市柳戸 1—1
岐阜大学大学院医学系研究科産業衛生学分野
井奈波良一

Reprint request:

Ryoichi Inaba
Department of Occupational Health, Gifu University Graduate School of Medicine, 1-1, Yanagido, Gifu, 501-1194, Japan

Environmentally-friendly Fireworks

Ryoichi Inaba

Department of Occupational Health, Gifu University Graduate School of Medicine

Documental study was performed on environmentally-friendly fireworks. In Japan, aerial shells made from molded pulp or biodegradable plastics are sold as environmentally-friendly fireworks materials. Concerning the early resolution with water, the former was not able to resolve, while there was early resolution with the latter. In USA, fireworks with little smoke were developed without using perchlorate which is suspected of causing thyroid problems. In Japan, for the technological innovation of safe fireworks, there was a case in which a security technology of the rocket was introduced. The development of green fireworks is improving, but the spread is obstructed by a problem of cost.

(JJOMT, 64: 213—216, 2016)

—Key words—

fireworks, ecology