

## 短 報

## 高温処理による製粉工場の害虫駆除

今井利宏<sup>1)</sup>\*・笠石義広<sup>1)</sup>・故 尼崎謙一<sup>2)</sup>・東 広記<sup>2)</sup>・塚本 匡<sup>2)</sup>・岩本栄二<sup>2)</sup><sup>1)</sup> 日本たばこ産業株式会社葉たばこ研究所

〒323-0808 栃木県小山市大字出井 1900

<sup>2)</sup> 株式会社サンエー

〒810-0071 福岡県福岡市中央区那の津 4-2-22

## Heat Disinfestation of Flour Mill Pests

Toshihiro IMAI<sup>1)</sup>, Yoshihiro KASAISHI<sup>1)</sup>, the late Ken'ichi AMAGASAKI<sup>2)</sup>,  
Hiroki HIGASHI<sup>2)</sup>, Tasuku TSUKAMOTO<sup>2)</sup> and Eiji IWAMOTO<sup>2)</sup><sup>1)</sup> Leaf Tobacco Research Center, Japan Tobacco Inc.,

Idei 1900, Oyama, Tochigi 323-0808, Japan

<sup>2)</sup> San-Ei Co., Ltd., 4-2-22 Nanotsu, Chuo-ku, Fukuoka 810-0071, Japan

**摘要.** 福岡市内の製粉工場において、ドイツ製加熱駆除装置 ThermoNox を用いた害虫駆除の施工を行った。鉄筋コンクリート造の 1 階から 5 階のフロア計 9,550 m<sup>3</sup> を 18 kW のヒーターを有する加熱送風機 39 台で加熱した。雰囲気温度（室温）は 15 時間以内に 50°C に達し、続く 24 時間施工を継続した。計 39 時間の施工によりほぼフロア全体の床温度と製粉機械内やダクト内の温度が 50°C 以上に達した。施工中の雰囲気温度（室温）は最高 61°C に達したが、製造設備に対する影響は全く生じなかった。施工による消費電力量は、23,040 kWh (2.41 kWh/m<sup>3</sup>) であった。タバコシバンムシ・ヒラタコクヌストモドキ・ノコギリヒラタムシ・ノシメマダラメイガのフェロモントラップによる捕虫数は、施工後に 1 割程度まで低下した。捕虫数をゼロにできなかった要因として、低層階への施工後の再侵入の可能性のほかに、熱流出により高温の維持が困難な窓枠部での生き残りが発生していた可能性があり、完全な駆除には高温処理に加えて窓枠部等の温度の上がりにくい箇所の清掃が必要であることが示唆された。

**キーワード:** 高温駆除, 製粉工場, 貯穀害虫, ヒラタコクヌストモドキ, タバコシバンムシ

**Abstract.** Heat treatment using ThermoNox was performed in a flour mill in Fukuoka. The first to fifth floors of concrete building, 9,550 m<sup>3</sup> in total capacity, were heated with 39 thermal circulation heaters of 18 kW. The ambient temperatures at every floor were raised at >50°C within 15 hours and the operation was continued for the following 24 hours. The floor temperatures almost overall, inside flour purifier, roller mill and conveyer ducts were raised at >50°C. Although the maximum ambient temperature went up to 61°C, no damages were observed in a plant and machinery. The electric power consumption during heat treatment was 23,040 kWh (2.41 kWh/m<sup>3</sup>). The pheromone-trap catches of four insect pests, *Lasioderma serricorne*, *Tribolium confusum*, *Oryzaephilus surinamensis* and *Plodia interpunctella*, were reduced into 1/10 after treatment. The temperature of a window frame did not reach at 50°C during heat treatment and inhabitants might survive there.

**Key words:** heat disinfestation, stored-product pest, flour mill, confused flour beetle, cigarette beetle

\* Corresponding author: toshihiro.ima@ims.jti.co.jp  
2008 年 8 月 27 日受付 (Received: 27 August 2008)

2008 年 12 月 22 日受理 (Accepted: 22 December 2008)

## はじめに

害虫の生存限界を超える高温を利用した駆除法は古くから知られており、20世紀の初め頃には、製粉工場全体を加熱によって駆除する手法が開発されていた (Dean, 1911; Dean, 1913)。高温処理による害虫駆除は、1930年代以降、臭化メチルくん蒸の普及とともに廃れたものの、1992年のモントリオール議定書改定による臭化メチルのオゾン層破壊物質としての規制の決定、続く1997年の改定による2005年全廃への削減スケジュールの決定以降、臭化メチルくん蒸に代替する駆除技術として、改めて注目されることとなった (Mahroof *et al.*, 2003b; UNEP, 2005)。欧米では、屋外に設置したガスヒーターから熱風をダクト等で施設内に導入する方法、あるいは可搬式の電気ヒーターで直接施設内を過熱する方法等による施工技術の開発が進み、普及段階に至っている (Hofmeir, 2002; Mahroof *et al.*, 2003a; Mahroof *et al.*, 2003b; Roesli *et al.*, 2003; Böye *et al.*, 2006)。それらの技術は、国連環境計画 (UNEP) および国連開発計画 (UNDP) の支援のもと、途上国へも導入が図られている (Böye *et al.*, 2006)。ところが、日本国内においては、もともと工場全体に対する臭化メチルくん蒸が実施されていなかったこともあり、学会等における高温処理技術やその効果の紹介も限られており (坂下・羽原, 2004)，一般にもあまり広く認知されていない。2003年の食品衛生法の改正による残留農薬規制のポジティブリスト制移行以来、食品製造現場における薬剤使用はこれまで以上に制約されるようになり、非化学的防除手段の導入が問題解決の選択肢のひとつとみなされるようになってきている。本報においては、ドイツで開発された加熱駆除装置ターモノックス (ThermoNox) を用いた製粉工場における高温害虫駆除の施工事例を紹介する。

## 材料および方法

### 1. 加熱装置

ターモノックス製加熱送風機 WEO 9/18 (ThermoNox GmbH, Fahlenbach, Germany) を

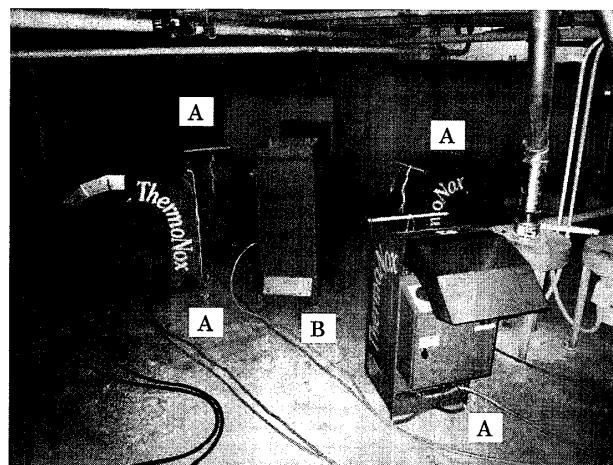


図 1. ThermoNox 加熱送風機 (A) と送風機 (B)

用いた (図 1)。本装置は、400~440 V 駆動の 9 kW ヒーター 2 基と 0.75 kW 同軸ファンから構成され、サーモスタットにより機械周辺温度を 50~60°C に維持する加熱制御機構を持ち、EU 防爆機器指令 (ATEX 94/9/EC) に適合した防爆性能 (クラス ex II 3D) を有する。また、施工室内の対流を促進し、室内全体を均一に加熱するため、同社製送風機 (0.75 kW 同軸ファン) を併用した。

### 2. 施工

福岡県福岡市内の日産能力 200 t の中規模製粉工場 (鉄筋コンクリート造; 1 階テンパタンク下原料供給室 300 m<sup>3</sup>, 加熱送風機 3 台 + 送風機 1 台; ロール機下機械室 1,150 m<sup>3</sup>, 加熱送風機 8 台 + 送風機 2 台; 2 階ロール室 1,150 m<sup>3</sup>, 加熱送風機 7 台 + 送風機 1 台; 2~3 階 (吹抜け) パッキング室 3,200 m<sup>3</sup>, 加熱送風機 8 台 + 送風機 3 台; 3 階スパウト室 1,300 m<sup>3</sup>, 加熱送風機 4 台; 4 階シフター室 1,150 m<sup>3</sup>, 加熱送風機 6 台; 5 階サイクロン室 1,300 m<sup>3</sup>, 加熱送風機 3 台; 2~3 階および 4~5 階はグレーティングによる一部吹抜け構造) にて施工を実施した。施工にあたり、窓やシャッター等の開口部は閉じたが、特段の熱養生は行っていない。施工は、床・天井・壁などのクリアランスや目地、設備・機械内部の生息虫まで死滅に必要な温度が伝わるように、各施工場所の雰囲気温度が 50°C を超えてから 24 時間程度温度を維持することを目安とし、2008 年 6 月 11 日 19:

00 から 13 日 10:00 まで 39 時間行った。また、フロア全体を均一に加熱するために、施行開始 12, 24, 28, 32, 36 時間後の計 5 回、温度データに基づいて加熱送風機および送風機の位置および吹き出し方向を調整した。

### 3. 温度測定

雰囲気（計 14 カ所）・床（計 67 カ所）・機械・装置内部（計 8 カ所）・壁（1 カ所）・窓（1 カ所）の温度は、T&D おんどとり TR-51, RTR-51, 佐藤計量器製作所 SK-L200T および佐藤計量器製作所赤外線放射温度計 SK-8700II を用いて、1 時間～4 時間ごとに測定・記録した。床温度の測定データは、Golden Software 製プログラム Surfer 6.0 (Golden Software, Inc., Colorado, USA) を用い、Kriging 法により解析し、等温線図を描かせた。

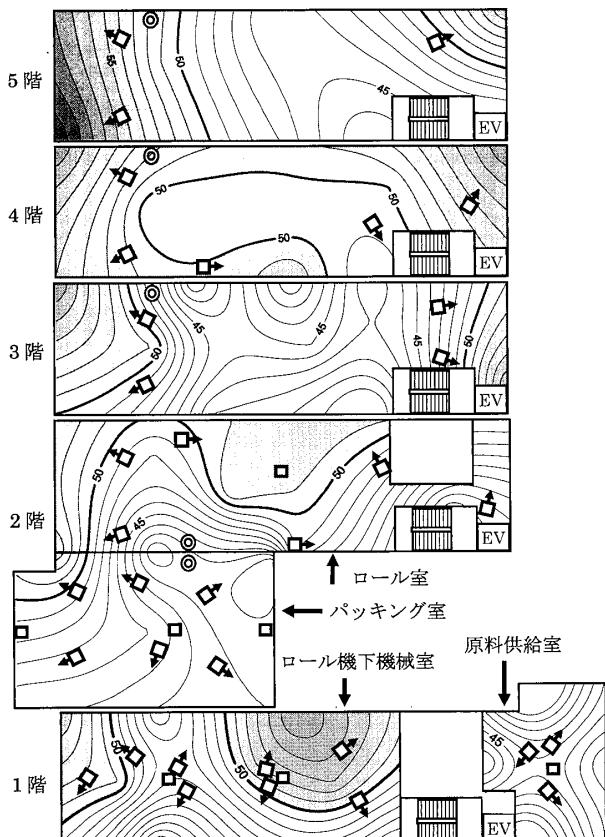


図 2. ThermoZNox 施行開始 12 時間後の床温度分布

等温線は 1°C 間隔、矢印つき四角形は加熱送風機および送風方向、四角形は送風機、二重丸はフェロモントラップ設置場所

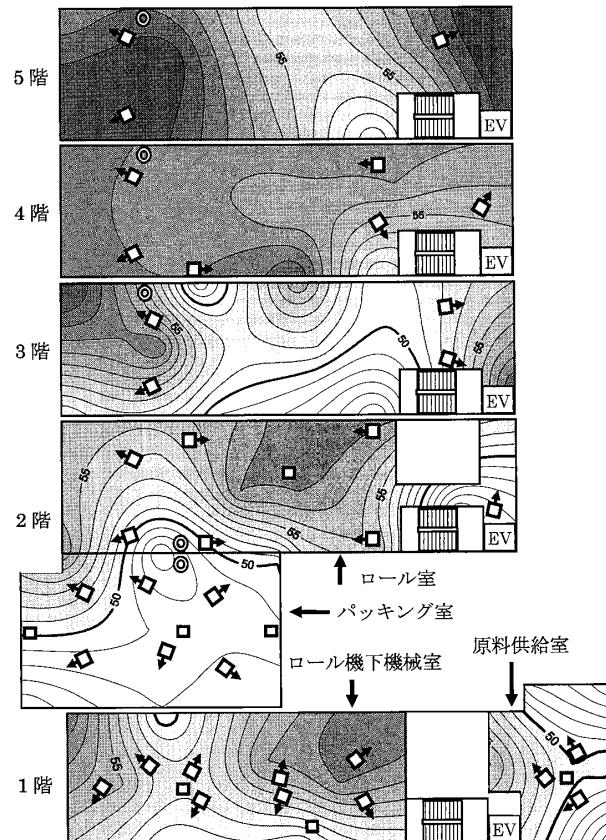


図 3. ThermoZNox 施行開始 24 時間後の床温度分布

### 4. モニタリング

施工による効果を明らかにするため、施工前後のフェロモントラップによる捕虫調査を 2 階ロール室およびパッキング室・3 階スパウト室・4 階シフター室・5 階サイクロン室の計 5 カ所において行った（図 2～4）。調査期間は、施工前は 5 月 23 日から 6 月 6 日、施工後は 6 月 16 日から 6 月 30 日の各 2 週間で、施工後に新しいトラップに交換した。フェロモントラップは、富士フレーバー株式会社から提供いただいたタバコシバシムシ用ニューセリコ、コクヌストモドキ・ヒラタコクヌストモドキ用トリオス、ノコギリヒラタムシ用トリオス、ノシメマダラメイガ用ガチョンを 1 箇所あたりそれぞれ 1 トラップずつ、ニューセリコとガチョンは壁面高さ約 1.5 m に、2 種のトリオスは床面に、それぞれ約 2 m 離して設置した。

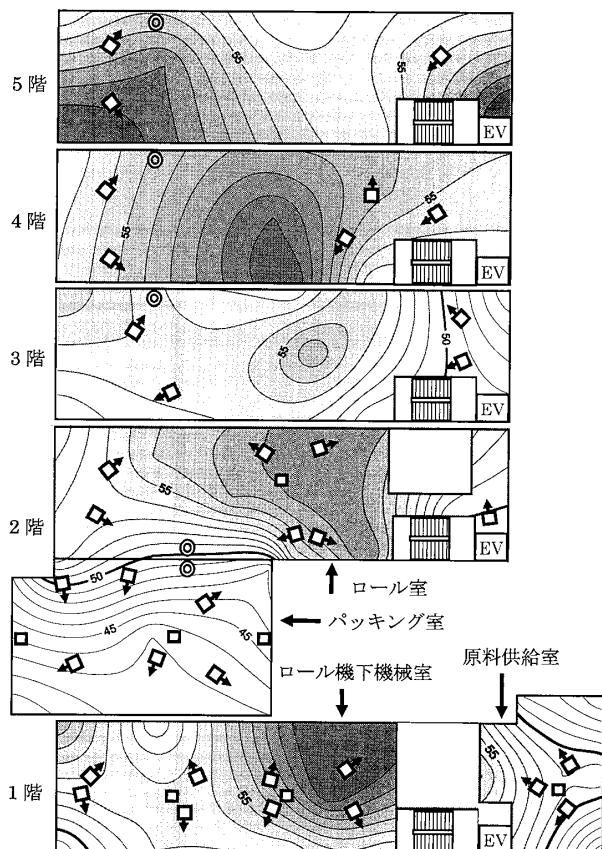


図4. ThermoZNox 施行開始 36 時間後の床温度分布

## 結果および考察

### 1. 昇温状況

貯穀害虫の高温耐性は種によって多少の違いはあるものの、おおむね 45°C では時間単位で、50~60°C では分単位で死滅することが知られている (Fields, 1992)。すなわち、害虫の生息箇所をあまねく 50°C 以上に上げることができれば、比較的短時間での駆除が期待でき、この水準を目標として高温処理が行われる。実際の施工においては、クラックや機械内部など害虫生息箇所すべての温度をモニターすることは不可能なため、雰囲気温度(室温)が 50°C を超えてから、24 時間から 36 時間を目安に温度を維持することが多い (Dowdy and Fields, 2002; Mahroof *et al.*, 2003a; Mahroof *et al.*, 2003b; Roesli *et al.*, 2003)。坂下・羽原 (2004) は、製粉工場の施工で 32 時間の処理を行い、室温 50°C 以上を約 12 時間しか経過しなかったフロアで、床面に供試したヒラタコ

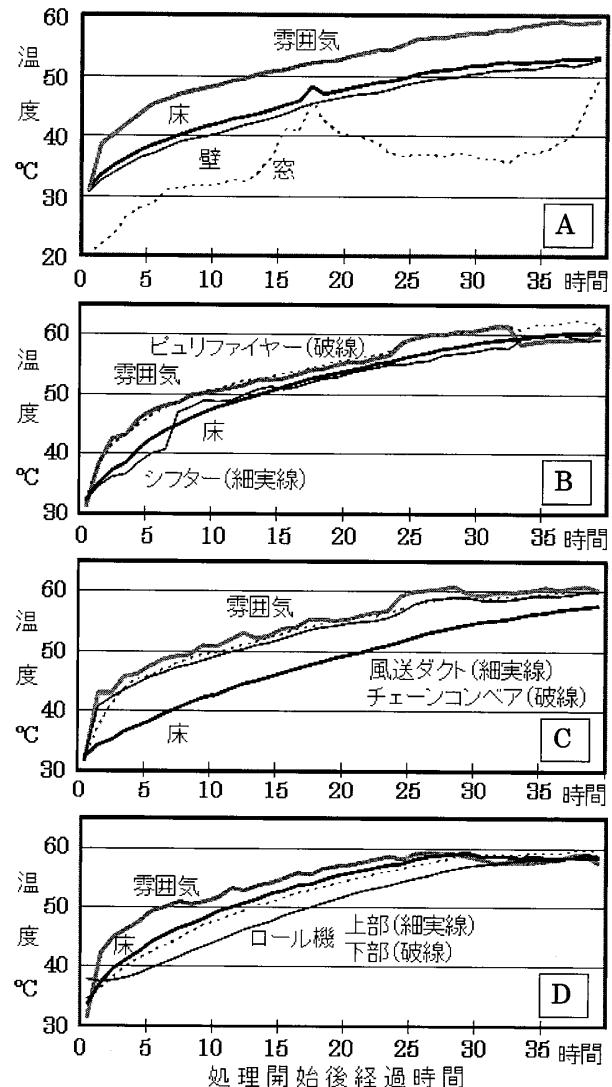


図5. ThermoZNox 施行による各階雰囲気温度(室温)と構造物・製粉機械内部の昇温状況  
A: サイクロン室(5階), B: シフター室(4階), C: スパウト室(3階), D: ロール室(2階)

クヌストモドキに対して効果が得られなかったことを報告している。今回の施工では、6 時間(ロール室)から 15 時間(原料供給室)で雰囲気温度が 50°C に達し、39 時間まで処理を継続した。床温度は、加熱送風機の送風方向(風下)から上昇し、送風方向の調整により、原料供給室およびパッキング室を除いてフロア全体が 50°C に到達した(図2~4)。本製粉工場における最優先種のヒラタコクヌストモドキの死亡所要時間( $LT_{99}$ )は、299 分(46°C)→177 分(48°C)→90 分(50°C)とされていることから (Boina and Subramanyam, 2004), ほぼ施工エリア全体の同

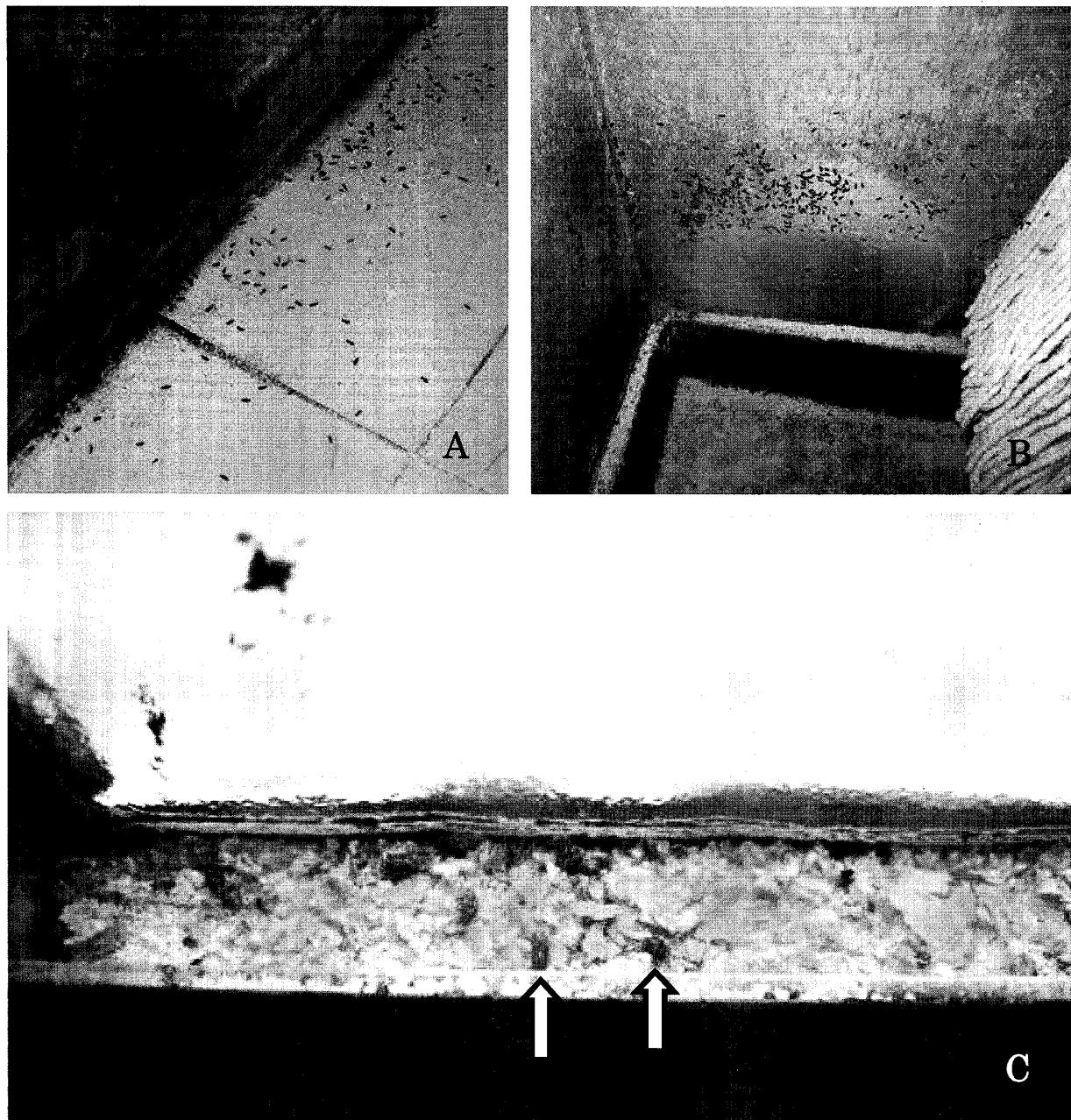


図6. A, 機械台座から這い出てきたヒラタコクヌストモドキ成虫（施行開始15時間後）, B, モップの陰に集まつたヒラタコクヌストモドキ成虫（施行開始15時間後）, C, 窓枠に溜まつた製粉屑上のタバコシバンムシ成虫の死骸（矢印）

害虫の駆除の達成が期待された。

建物の構造物や製粉機械内部への熱の伝わり方は材質や熱損失量によって異なり、床や壁等のコンクリート構造物表面の暖まり方は遅く（50°C 到達時間は雰囲気に対して5時間から15時間のラグ），外部への熱損失が大きい窓枠は夜間に温度が下がってしまい、最後まで50°Cに達しなかった（図5; A）。一方、金属構造物への熱の伝達は早く、風送ダクト・チェーンコンベアなどのコ

ンクリートと接していない構造物内部の温度は、雰囲気温度に対して2時間から3時間のラグで昇温した（図5; C）。ロール機・シフター・ピュリファイヤーなどの機械内部は、雰囲気温度に対して1時間から10時間のラグで昇温した（図5; B, D）。以上の点から、雰囲気温度50°C到達後、24時間温度を維持すれば、建物構造表面のクラックや製造機械内部に生息する害虫の大半は駆除できることが明らかになった。

表 1. 高温処理施工前後のフェロモントラップ捕虫数

種名	設置場所	5/23~6/6	6/16~6/30
タバコシバンムシ	ロール室（2階）	204	26
	パッキング室（2階）	97	37
	スパウト室（3階）	254	14
	シフター室（4階）	139	14
	サイクロン室（5階）	57	9
ヒラタコクヌストモドキ	ロール室（2階）	3	0
	パッキング室（2階）	4	0
	スパウト室（3階）	1	0
	シフター室（4階）	2	0
	サイクロン室（5階）	3	1
ノコギリヒラタムシ	ロール室（2階）	6	0
	パッキング室（2階）	6	3
	スパウト室（3階）	0	0
	シフター室（4階）	3	0
	サイクロン室（5階）	0	0
ノシメマダラメイガ	ロール室（2階）	11	2
	パッキング室（2階）	21	4
	スパウト室（3階）	18	0
	シフター室（4階）	8	0
	サイクロン室（5階）	1	0

今回の施工では、雰囲気温度が最高 61°C に達した箇所が存在したが、施工による製造機械・制御機器類やパッキングなどの樹脂部品、建造物などに対する影響は、発生しなかった。ターモノックスによる施工は、加熱装置の機動性が高く、加熱が必要な箇所に細かく対応が可能なため、適当な温度モニタリング機器と組み合わせることによって、機械や設備に対する高温障害リスクを低減した均質な温度管理が可能であることが実証された。施工による電力消費量は 23,040 kWh (2.41 kWh/m<sup>3</sup>) であった。ターモノックス施工時の電力消費量は、夏期 3~4 kWh/m<sup>3</sup>、冬期 4~5 kWh/m<sup>3</sup> とされており (Klapal *et al.*, 2004), 今回の施工期間は、中間期にあたり、外気温は 18.6°C から 25.6°C (平均 20.5°C) とあまり高くなかったが、前述の文献値を大幅に下回った。これは、工程内の施工前初期室温が 30°C から 32°C と高かったことが一因と考えられる。

## 2. 施工効果

施工開始後 10 時間から 12 時間経過し、機械内部および床温度が 45°C を超えるころから、ヒ

ラタコクヌストモドキ・ノコギリヒラタムシの成虫および幼虫がタイルの目地や機械の台座周辺から這い出てきた (図 6; A)。また、熱風の当たっていないフロアの隅や物陰などのより温度の低い箇所にヒラタコクヌストモドキの集まりが観察された (図 6; B)。今回は検証していないが、出てきた虫の移動は、床に植物油を塗布することによって阻害することが可能とされている (古賀、私信)。高温処理では、くん蒸と異なり、施工中の現場への出入りが可能なため、這い出てくる害虫を直接観察することにより生息箇所の確認が可能である。コクヌストモドキ類やノコギリヒラタムシ類のように、生息環境が好適なうちは分散しにくいために、トラップ調査による生息箇所の特定が難しい害虫では、発生源の探知にも有用であることが示唆された。

本来の発生消長が不明であるため、施工による効果を定量的に判定することはできないものの、フェロモントラップによる 4 種害虫の捕虫数は施工後に 1 割程度に低下した (表 1)。特に大半の床温度が 50°C まで到達しなかったパッキング室、および一般的に外部からの侵入が多い低層階

での減少率が低い傾向が認められた。

タバコシバンムシは、見取り調査では、製粉ライン周辺では全く発見されず、窓枠部で少数が発見されたのみであった(図6; C)。前述のとおり、窓枠部は高温を維持することが難しいため、生き残りが生じていた可能性が高い。窓枠部は施工時に外部から断熱材で熱養生するか、施工前後の清掃による手当てが必要であることが示唆された。タバコシバンムシは貯穀害虫の中でも高温にもっとも強い部類の害虫とされるうえ(Kirkpatrick and Tilton, 1972)、製粉・製麺・製菓などの乾燥食品工場にかなり普遍的に生息し、フェロモントラップにもよく捕獲されることから(平尾ら, 1996)、高温処理の効果を検証するうえで、指標性が高い有用な種であることが示唆された。

### 謝 辞

本調査の実施にあたり、工場での施工に際して、様々なご協力および便宜を図っていただいた大陽製粉株式会社齋藤雄工場長に心よりお礼申し上げる。あわせて、ターモノックスに関する多くの有益な情報をご教示いただいた大陽製粉株式会社古賀脩平社長に感謝申し上げる。

### 引 用 文 献

- Boina, D. and Subramanyam, B. (2004) Relative susceptibility of *Tribolium confusum* life stages exposed to elevated temperatures. *Journal of Economic Entomology* **97**(6): 2168–2173.
- Böye, J., Ignatowicz, S., Lange, H., Mück, O., Mueller, D., Navarro, S. and Sotiroudas, V. (2006) UNEP/UNDP training and technical support in alternative technologies to methyl bromide fumigation for post-harvest sector in CEIT countries. 89 pp. (<http://jp1.estis.net/includes/file.asp?site=ecanetwork&file=8AA139BF-610D-4524-8BB1-8003850B52C1>)
- Dean, G. A. (1911) Heat as a means of controlling mill insects. *Journal of Economic Entomology* **4**(2): 142–161.
- Dean, G. A. (1913) Further data on heat as a means of controlling mill insects. *Journal of Economic Entomology* **6**(1): 40–53.
- Dowdy, A. K. and Fields, P. G. (2002) Heat combined with diatomaceous earth to control the confused flour beetle (Coleoptera: Tenebrionidae) in a flour mill. *Journal of Stored Products Research* **38**(1): 11–22.
- Fields, P. G. (1992) The control of stored-product insects and mites with extreme temperatures. *Journal of Stored Products Research* **28**(2): 89–118.
- 平尾素一・羽原政明・桜井 仁(1996)各種トラップによる貯蔵食品害虫捕獲反応の比較。ペストロジー学会誌 **11**(1): 24–28.
- Hofmeir, H. (2002) Wärmeentwesung nach dem ThermoNox®-Verfahren. Schädlingsbekämpfung ohne Gift. *Mühle+Mischfutter* **139**(6): 153–169.
- Kirkpatrick, R. L. and Tilton, E. W. (1972) Infrared radiation to control adult stored-product Coleoptera. *Journal of the Georgia Entomological Society* **7**(1): 73–75.
- Klapal, H., Cate, Dr. P. and Rappl, F. (2004) Results of a practical test with the ThermoNox® heat treatment procedure, an alternative possibility for control of stored product pests by thermal eradication. *Integrated Protection of Stored Products. IOBC Bulletin/wprs* **27**(9): 245–249.
- Mahroof, R., Subramanyam, B. and Eustace, D. (2003a) Temperature and relative humidity profiles during heat treatment of mills and its efficacy against *Tribolium castaneum* (Herbst) life stages. *Journal of Stored Products Research* **39**(5): 555–569.
- Mahroof, R., Subramanyam, B., Throne, J. E. and Menon, A. (2003b) Time–mortality relationships for *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) life stages exposed to elevated temperatures. *Journal of Economic Entomology* **96**(4): 1345–1351.
- Roesli, R., Subramanyam, B., Fairchild, F. J. and Behnke, K. C. (2003) Trap catches of stored-product insects before and after heat treatment in a pilot feed mill. *Journal of Stored Products Research* **39**(5): 521–540.
- 坂下琢磨・羽原政明(2004)加熱処理機(ターモノックス)によるヒラタコクヌストモドキ成虫駆除の試み。ペストロジー学会誌 **19**(1): 17–20.
- UNEP (2005) Montreal Protocol on substances that deplete the ozone layer. Report of the UNEP Technology and Economic Assessment Panel, May 2005 Progress report, 295 pp. ([http://www.unep.org/OZONE/teap/Reports/TEAP\\_Reports/teap\\_progress\\_report\\_May2005.pdf](http://www.unep.org/OZONE/teap/Reports/TEAP_Reports/teap_progress_report_May2005.pdf))