

温度上昇抑制に効果的な高日射反射率塗料の材料配合と施工に関する研究

立命館大学 ○槌野 順
立命館大学 横山 隆明
立命館大学 建山 和由

1. はじめに

地球温暖化やヒートアイランド現象による気温上昇が問題となって久しいが依然として長期的な平均気温の上昇は続いている。また、日本は主要先進国の中でもエネルギー自給率が低く、東日本大震災による原子力発電所の事故による影響で更なる省エネルギー化への転換が求められている。そのような社会情勢の中、高日射反射率塗料は、ヒートアイランド対策、空調設備の使用率低減による二酸化炭素排出量の抑制と電力消費量の削減が可能ことから、環境負荷対策かつ経済性の向上を担える材料として注目されている。温度上昇は太陽光に約 50% 含まれ、波長が 780~2500nm である電磁波である赤外線の影響が最も大きいとされている。そのため、高日射反射率塗料の作製時には、赤外線の反射率を高める遮熱顔料を用いることで温度上昇の抑制効果を実現できる。赤外線反射性能を有する高日射反射率塗料は構造物の屋上や路面に塗布し、対象物の温度上昇を防ぐことを目的に使用されるが、日射反射率や耐候性などの各種品質要求を満足する必要がある、その性能を画一的に評価することが困難であると言われている。そこで、経済産業省が 2008 年 9 月に「JIS K 5602:2008 塗膜の日射反射率の求め方」¹⁾、2011 年 7 月に「JIS K 5675:2011 屋根用高日射反射率塗料」²⁾を制定することで、一律な塗材の性能評価が行なわれるようになった。

粉体塗料や遮熱塗料といった付加価値をもたらす塗料の登場により、塗料の市場は数十年にわたり拡大し続けており、特に高日射反射率塗料の有用性は国内外を問わず認められている。そのため、高日射反射率塗料は多種多様な性能のものが流通している³⁾が、近年は国内における塗料の市場規模の拡大は頭打ちしつつある。また、多くの製品が流通していることによる問題点として、製品の性能格差が大きくあることが挙げられる。上記で述べたように高日射反射率塗料の画一的な性能評価は行なわれるようになったが、塗料の性能を左右する材料の配合は商品価値にも繋がる情報であるため公開される機会は少なく、材料を用いた配合と施工方法により、温度上昇の抑制に対してどの程度効果的であるかは明らかにされていない。

そこで、本研究では、高日射反射率塗料の材料配合と施工方法による温度上昇抑制効果への影響を解明することで、塗料の性能向上、製造価格をより安価にすることで高日射反射率塗料の普及促進、そして環境負荷軽減に貢献することを目指す。そのため、本研究では高日射反射率塗料の材料配合設計を変化させ、熱反射性能へ及ぼす影響を調べ、温度上昇抑制機能とコストの両面から最も効果的な配合割合の創出を目的とする。

2. 試験体を用いた表面温度計測

(1). 実験目的

同一環境の再現が容易であり、材料の配合、施工条件の変化による塗料の熱作用への影響を比較しやすいため、小型の試験体を用いて熱負荷低減効果の把握を目的とし、塗装の明度、赤外線線反射顔料の含有量、厚みが及ぼす影響を調べるため試験を行った。

キーワード 高日射反射率塗料, 遮熱塗料, 近赤外線, 可視光線, 日射量, 温度

連絡先 〒578-0902 大阪府東大阪市川中 3 番 35 号 ロアール吉田 303 TEL 090-6982-0453

(2)実験概要

a)対象とした試験体

表面温度の計測は写真-1 に示す,面積が 105cm² (7cm×15cm) の石膏ボードを用い,各条件の違う塗装を施したものを対象とした。

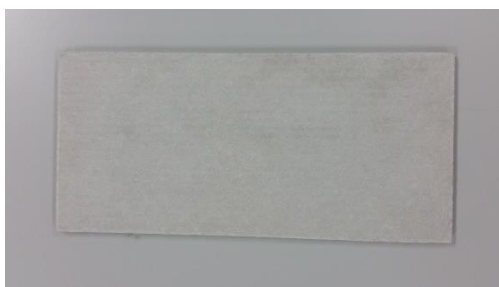


写真-1 石膏ボード

塗材の作成は,全体質量のうち,液体樹脂を約 30.3%,骨材としての役割を果たす無機粉体混合物を 67.2%,赤外線反射顔料を 2.5%とし,これを基本の配合とした.本試験では白色赤外線反射顔料と黒色赤外線反射顔料を用いて試験体の色を変化させ,表面温度への影響を確認することを目的とした.また,赤外線反射顔料量を基本配合設計より増加させたもの,同じ赤外線反射顔料量で塗装の厚みのみを変化させたもので比較を行なった.また,「JIS K 5675 屋根用高反射率塗料」によって塗装の明度 (L*値) は日射反射率と相関関係があることが明らかにされている⁴⁾ ため,室内で塗装板の撮影を行い,Photoshop を用いて撮影した画像から明度を調べた.明度と表面温度との相関関係を確認するために青色赤外線反射顔料と黄色赤外線反射顔料を用いて緑色の試験体を作製した.また,高日射反射を謳っていない市販品の白色塗料との比較も行なった.それぞれの試験体の特徴を表-1 に示す。

表-1 試験体の概要一覧

番号	赤外線反射顔料 割合	明度 (L*値)	塗装の厚み (μm)
(1)	-	71	
(2)	黒 100%	42	600
(3)	白 100%	72	600
(4)	白 200%	78	600
(5)	白 66%黒 33%	45	300
(6)	白 66%黒 33%	42	600
(7)	白 66%黒 33%	40	900
(8)	青 25%黄 75%	39	600
(9)	市販品白	77	100
気温	-	-	-

b)測定方法

試験体の表面温度測定は,2017 年 9 月 21 日,立命館大学びわこくさつキャンパス内にある構造物の屋根上で行った.試験体は外部からの伝導熱の影響を防ぐため,断熱性能を有する発泡スチロールに接着剤で固定した.また測定地点の床面,塗装板の設置高さと同じ高さの気温の測定も同時に行った.表面温度の測定には接触式の温度センサとしてサーミスタを用い,測定部分を試験体に接触させ行った.また,得られた観測資料の均質性を証明するため,日射量の測定も同時に行なった。

(3)測定結果

日射量が計測された 6 時から 18 時の間での屋上における表面温度測定の結果を,赤外線反射顔料の含有量,厚み,明度で比較し図-1,図-2,図-3 に示す.

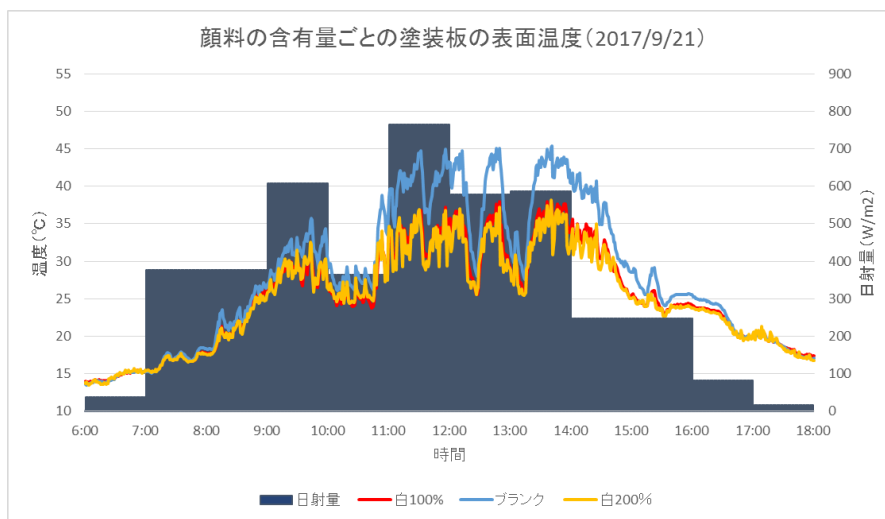


図-1 白色赤外線反射顔料量に関する比較

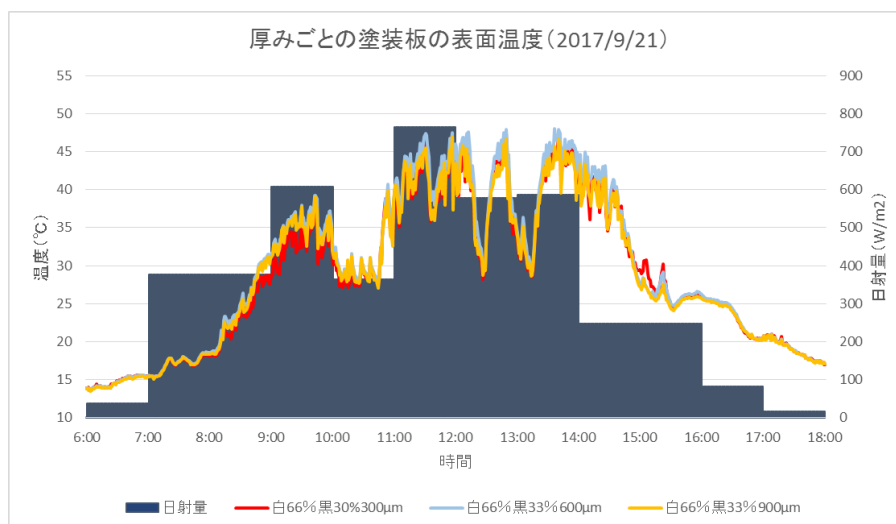


図-2 塗装厚みによる比較

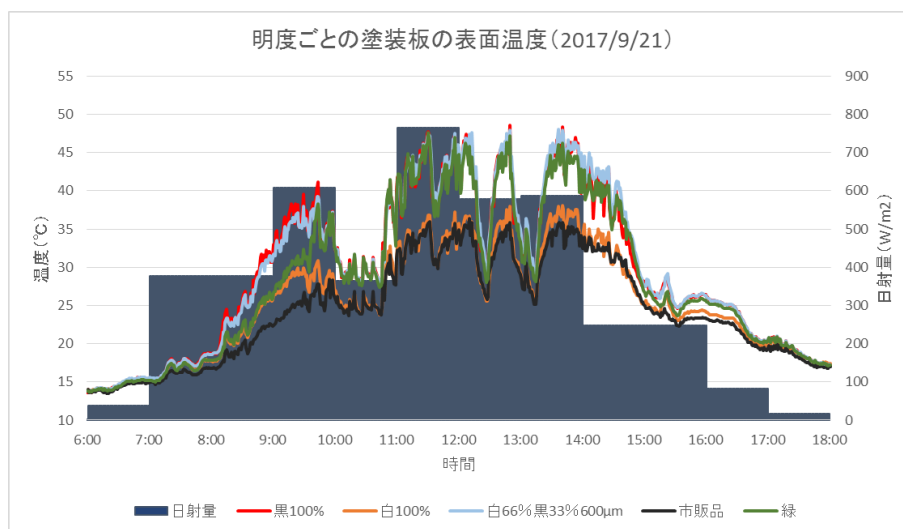


図-3 明度による比較

また 6 時から 18 時の各試験体の平均温度, 最高温度を表-2 に示す.

表-2 屋上における表面温度の測定結果

番号	平均温度 (°C)	最高温度 (°C)
(1)	28.0	45.4
(2)	29.4	48.6
(3)	25.3	38.1
(4)	24.9	38.2
(5)	28.6	47.4
(6)	28.8	48.0
(7)	28.7	47.0
(8)	28.3	47.6
(9)	24.3	36.4
気温	23.2	29.5

白色赤外線顔料を (3) 基本配合量としたものと (4) 200%としたもので温度比較すると,大きな差は見られなかった.ただ,白色赤外線反射顔料が 200%のものは平均温度が 0.4°C 下がっており,多少の相関関係がある可能性がある.今後,赤外線反射顔料の配合割合を大幅に増やし熱挙動に作用するか確認する必要がある.

塗装厚みによる温度比較では (5) 300 μ m, (6) 600 μ m, (7) 900 μ m のものを用いた.温度測定の結果,厚みと温度上昇挙動には相関が見られなかった.厚みが増えると熱容量が増え,温度上昇速度に影響があると予想されたが,相関関係が見られなかった理由としては,試験体の面積,厚みが小さかったことが原因となってしまったと考えられる.しかしながら,実際の施工において大幅な厚み増は母材の負荷増大,コスト増大に繋がるため温度上昇抑制に効果的ではないと考えられる.

明度による温度比較では (1) 71, (2) 42, (3) 72, (6) 42, (8) 57 (9) 77 のものを用いた.測定の結果,明度の値が高くなるほど表面温度は低くなる傾向が見られた.最も明度が高い (3) と最も明度が低い (6) を比較すると,平均温度は 3.5°C の差が見られ,最高温度は 9.9°C と大きな差が見られた.日射量が多い時に温度差が大きくなっていることから,明度と赤外線反射率の相関関係が結果に表れていると考えられる.

以上の結果より明度が温度上昇挙動に最も寄与することが分かり,顔料により明度のコントロールを行なうことが表面温度低減に効果的であると示唆された.

3. 倉庫を用いた実証実験

(1) 実験目的

実際に使用される環境を想定した路面,屋根に塗料を施工した際に,明度,配合材料の違いによる温度上昇挙動と熱負荷低減効果の把握を目的とした.

(2) 実験概要

a) 対象とした建物

対象とした建物は,立命館大学びわこくさつキャンパス内にある平屋建ての倉庫とした.建物は鉄骨造で間口 17m $\times$ 奥行き 6m $\times$ 高さ 2.5m であり,屋根部分に高日射反射率塗料による施工を施した.また,倉庫前の 18m $\times$ 3m のアスファルト上に 6 種類の塗装を施した.

対象とした建物を写真-2 に示す.



写真-2 測定対象建物

b)対象とした塗装

屋根には薄膜の A 塗装と 1mm の厚膜の B 塗装を約 34 m³に施工し,無塗装との温度動態の比較を行なった. 路面には顔料の含有量を変化させ明度の違う涼感塗装と,耐摩耗性の向上と彩色を賄うことを目的に,建設廃棄物であるナスファインサンドと赤外線遮蔽チタンを配合した塗装を施工し,無塗装のアスファルトとの温度動態の比較を行なった.

c)測定方法

温度測定は,2017 年 9 月 21 日,図-4 に示す位置に熱電対を設置し温度の測定を行なった. また,倉庫は日常的に使用されるものであるため,熱電対の動作不良が起こる可能性を危惧し,屋根においては,表面と裏面に,路面においては表面と路面内部に熱電対の設置を行ない,1 分間隔での温度測定を行なった. また,日射計を用い日射量の測定も行なった. 測定機器の設置位置を図-4 に示す.

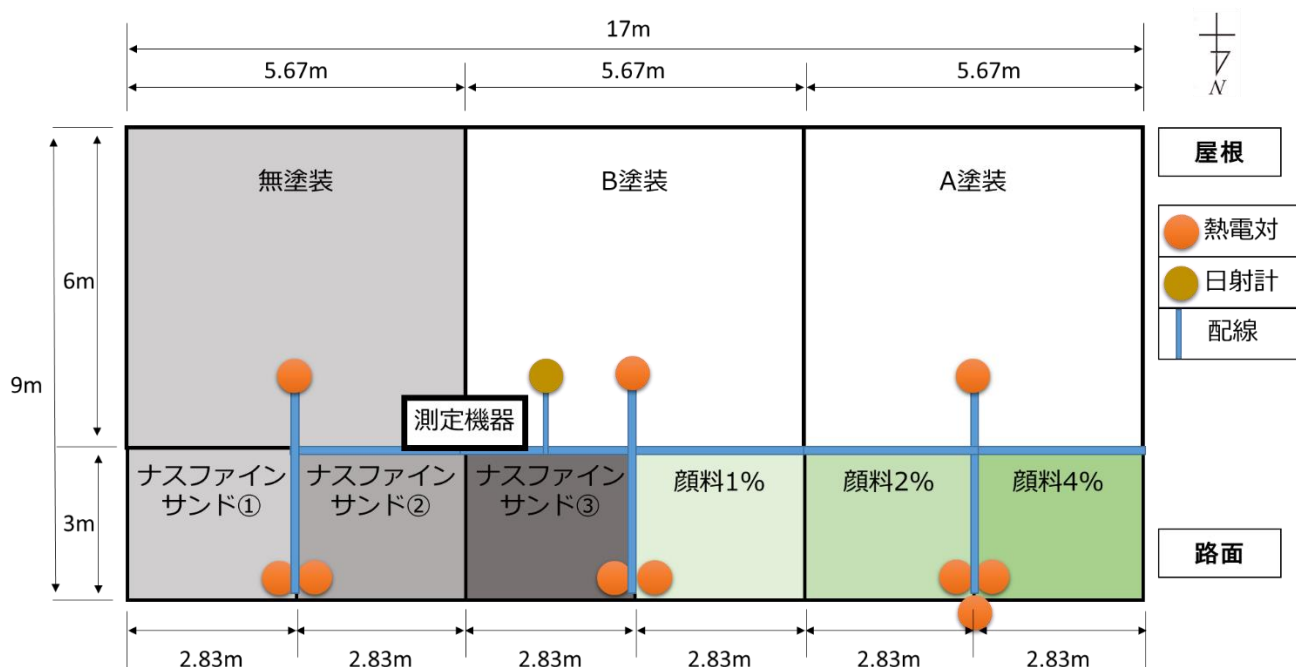


図-4 倉庫上面図

(3)測定結果

日射量が計測された 6 時から 18 時の間での温度測定の結果を, 明度の違う路面における涼感塗装の内部温度の比較, ナスファインサンドと無塗装の表面温度の比較, 屋根における A 塗装と B 塗装の塗装温度の比較し 図-5, 図-6 に示す. 今回の温度測定では熱電対で正常に温度測定を行なえたものについてのみ比較を行なった. 表-4 にそれぞれの平均温度と最高温度を示す.

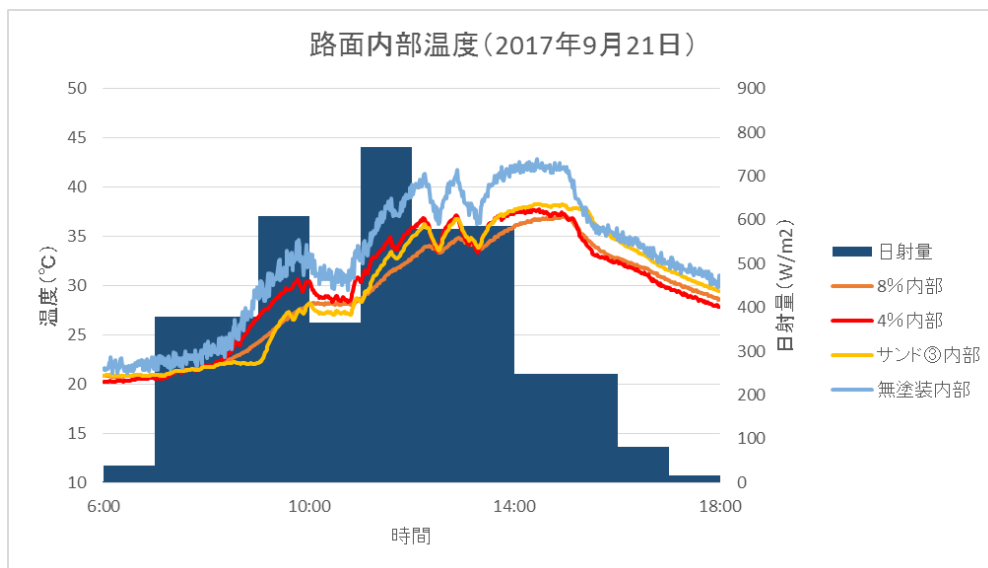


図-5 路面内部の温度比較

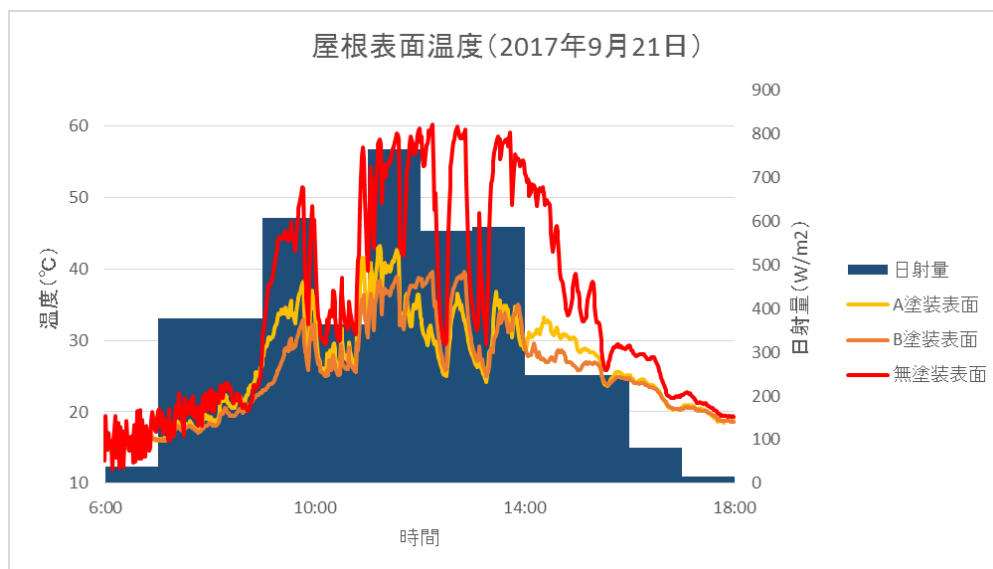


図-6 屋根表面の比較

表-4 倉庫塗装における温度の測定結果

	番号	種類	明度 (L*値)	平均温度 (°C)	最高温度 (°C)
屋根	(10)	A 塗装 (薄膜)	83	26.4	43.2
	(11)	B 塗装 (厚膜)	84	25.5	39.6
	(12)	無塗装	37	34.3	60.2
路面	(13)	涼感塗装顔料 8%	55	29.2	37.0
	(14)	涼感塗装顔料 4%	57	29.9	37.7
	(15)	ナスファインサンド	40	29.9	38.2
	(16)	アスファルト	46	32.7	42.9

屋根表面の温度測定の結果より, (10) A 塗装と (11) B 塗装との比較では, ほぼ同じ明度であるにも関わらず, 平均温度は 0.9℃, 最高温度は 3.6℃もの差が計測された. おそらく厚みによる熱容量の増加が温度上昇抑制に寄与していると考えられる.

(11) B 塗装と (12) 無塗装の平均温度を比較すると 9.8℃もの差が見られ, 最高温度では 20.6℃と大きな差が見られ, 遮熱性能の低い母材に対しては, 高日射反射率塗料を施工することで, 大幅な温熱環境の改善が行なえることが分かった.

路面における結果では, (13) 涼感塗装顔料 8%と (14) 涼感塗装顔料 4%を比較すると大きな温度差は計測できなかった. しかしながら, 明度が高くなるにつれ温度上昇抑制効果も高まることが示唆されているものの, 平均温度, 最高温度ともに赤外線反射顔料の含有量が多く明度が低くなっている (13) 涼感塗装顔料 8%の塗装の方が微小ではあるが温度上昇抑制効果が高いことが明らかになった.

また, (15) ナスファインサンドは (16) アスファルト舗装と比較し明度が低いにも関わらず涼感塗装と同様に温度上昇の抑制が見られたため, 温度上昇抑制機能は明度のみに左右されるのではなく, 塗膜に含まれる赤外線遮蔽材料である酸化チタンの効果が確認された.

4. まとめ

- 塗料の全体質量において赤外線反射顔料の配合率の 2.5%から 5%への増加は温度上昇抑制効果に対し大きな影響を確認できなかった.
- 7cm×15cm の試験体では塗装の厚みにおいて 300μm から 900μm の変化は温度上昇抑制効果に大きな影響は確認できなかった.
- 塗装の明度は赤外線反射率との相関があり, 明度の高さは温度上昇抑制効果の大きさに強く影響していると考えられる.
- 遮熱性能の低い母材に対しては, 高日射反射率塗料の施工は効果的であることが確認できた.
- 約 34 m²の塗装面積では塗膜の厚みによる熱容量の増加が温度上昇抑制に効果がある可能性が示唆された.
- 赤外線反射顔料の含有量増加は明度の向上よりも温度上昇抑制効果が大きいことが確認できた.

参考文献

- 1) 一般財団法人 日本規格協会, JIS K5602:2008 塗膜の日射反射率の求め方, p2-4, 日本規格協会, 2008 年
- 2) 一般財団法人 日本規格協会, JIS K 5675:2011 屋根用高日射反射率塗料, p2-4, 日本規格協会, 2008 年
- 3) 大沼 清利, 技術の系統化調査報告 第 15 集, p3-7, 国立科学博物館, 2010 年
- 4) 桜田 将至, 遮熱舗装用塗料の開発, p9, 大日本塗料株式会社, 2004 年