技術報告　特集「鋳造設備」

悪臭防止法に基づく鋳物工場の脱臭・消臭対策による環境保全

坪田博隆*

Technical Paper
J. JFS, Vol. 93, No. 12（2021）pp. 000～000
DOI : 10.11279 / jfes.93.000
Special Issue on Xxxxxxx xxx Xxxxxx Xxxxxx

Environmental Protection by Deodorization Treatment Based on Offensive Odor Control Law in Foundry

Hirotaka Tsubota*

キーワード：悪臭防止法，排出規制基準，臭気指数，脱臭，無煙化

1. はじめに

鋳物工場の環境対策としてこれまで，粉塵・振動・騒音・大気・臭気の改善を実施してきた．この中で環境省の悪臭防止法に基づく自治体が制定する厳しい環境規制値をクリアしながら鋳物生産を継続していくためには，大気と臭気の抜本的対策が必要となった[1]．

本稿ではまず，中子ラインの臭気対策として従来から実施してきた臭気中和剤による消臭対策について述べる．次に生産環境負荷の大きい鋳造冷却ラインの排気対策として，集塵ダクト内への炭酸カルシウム散布による黒煙集塵対策と活性炭による鋳物臭対策の2方式によって，無煙化と臭気規制値に対応した環境改善を行ったので報告する．

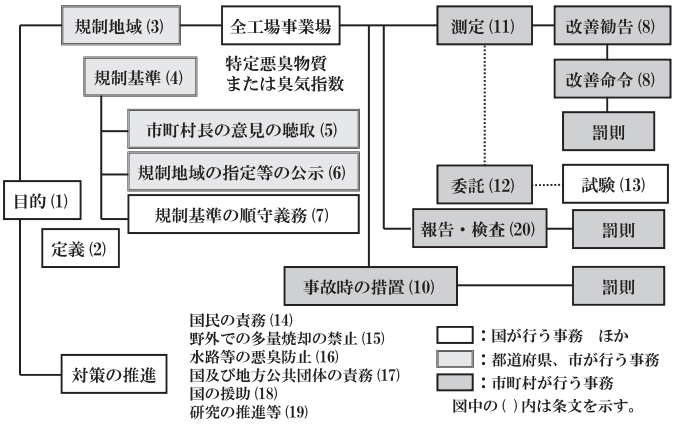

図1　悪臭防止法の体系[2]

2. 悪臭防止行政の概要

悪臭防止法は，昭和46年6月に公布され，工場その他の事業所における事業活動に伴って発生する悪臭について必要な規制を行い，その他，悪臭防止対策を推進することにより生活環境を保全し，国民の健康の保護に資することを目的としている．悪臭防止法の体系[2]を**図1**に示す．国，都道府県，市町村が行う事務対策と臭気を発する工場事業場の対策に分けられる．

表1に悪臭防止法に基づく規制対象と規制地域数[2]を示す．

表1　悪臭防止法に基づく規制対象と規制地域数[2]

規制対象（法第1条）	• 規制地域内のすべての工場・事業場が対象		
規制地域（法第3条）	• 都道府県知事または市長が指定 • 生活環境を保全するため悪臭を防止する必要があると認める住居が集合している地域		
規制地域数（平成28年）		規制地域を有する市町村数／市町村数	規制地域を有する比率
	市	740／791	93.5%
	区	23／23	100%
	町	463／744	62.2%
	村	57／183	31.1%
	計	1,283／1,741	73.7%

依頼原稿　受付日：令和3年8月30日，受理日：令和3年11月2日
*　坪田技術士事務所（元クボタ）　Tsubota Professional Engineer Office

す．法規制は，都道府県知事または市長が指定する規制対象地域のすべての工場と事業場を対象とし，平成28年では1,283市区町村（全市区町村の73.7%）が指定されている．

悪臭防止法に基づく規制基準[2)]を**表2**に示す．規制基準は，**表3**に示す特定悪臭物質（22物質）の濃度による規制[2)]，または臭気指数による規制[2)]のどちらかの方法を都道府県知事又は市長が選択する．

事業所が守らなければならない排出規制基準[2)]を**図2**に示す．①敷地境界線（第1号基準），②気体排出口（第2号基準），③排出水（第3号基準）の3つ規制がある．

表4に臭気指数規制の規制基準[2)]を示す．第1号基準は，第2，3号基準の基礎となる基準で，臭気指数10～21の範囲で都道府県知事又は市長が設定する．工場のある大阪市環境規制値は臭気指数10で，全国で最も厳しい規制値となっている．

第2号基準は，第1号基準をもとに「においシミュレーター」による拡散計算により都度算出し，排出口の高さ≧15mの場合は，臭気排出強度（臭気濃度×排気ガス量），排出口の高さ<15mの場合は，臭気指数を用いる．

表2　悪臭防止法に基づく規制基準[2)]

規制基準（法第4条）	都道府県知事または市長が指定
	自然的、社会的条件を考慮し、 ①特定悪臭物質の濃度による規制（現在22物質指定） ②臭気指数（嗅覚を用いた測定法による基準）による規制 のどちらかの方法を選択

表3　特定悪臭物質（22物質）の濃度による規制基準（規則別表1）[2)]

特定悪臭物質	範囲※	特定悪臭物質	範囲※
アンモニア	1～5	イソバレルアルデヒド	0.003～0.01
メチルメルカプタン	0.002～0.01	イソブタノール	0.9～20
硫化水素	0.02～0.2	酢酸エチル	3～20
硫化メチル	0.01～0.2	メチルイソブチルケトン	1～6
二硫化メチル	0.009～0.1	トルエン	10～60
トリメチルアミン	0.005～0.07	スチレン	0.4～2
アセトアルデヒド	0.05～0.5	キシレン	1～5
プロピオンアルデヒド	0.05～0.5	プロピオン酸	0.03～0.2
ノルマルブチルアルデヒド	0.009～0.08	ノルマル酪酸	0.001～0.006
イソブチルアルデヒド	0.02～0.2	ノルマル吉草酸	0.0009～0.004
ノルマルバレルアルデヒド	0.009～0.05	イソ吉草酸	0.001～0.01

※大気中における含有率で百万分率

図2　事業所の排出規制基準（法第4条，5条，6条，7条）[2)]

表4　臭気指数規制の規制基準（法第4条第2項）[2)]

第1号基準 （敷地境界線の基準）	• 第2号基準および第3号基準の基礎となる基準。 • 臭気指数10～21の範囲で都道府県知事等が設定する。 臭気強度 ／ 臭気指数 2.5 ／ 10～15 3 ／ 12～18 3.5 ／ 14～21
第2号基準 （気体排出口の基準）	• 第1号基準をもとに、拡散計算によりその都度算出。 • 排出口の高さ≧15m：臭気排出強度＝臭気濃度×排気ガス量 • 排出口の高さ<15m：臭気指数 • 算出用ソフトを自治体向けに配布「においシミュレーター」
第3号基準 （排出水の基準）	• 第3号基準値＝第1号基準値＋16 • 三点比較式フラスコで測定

臭気の特徴
- においを発生させる物質は40万種類以上
- においの相加・相乗効果
- 個々の物質濃度が基準値以下であってもにおう

物質濃度規制だけでは限界である

臭気指数規制の導入（平成7年法改正）

試料を臭気が感じられなくなるまで無臭空気で希釈したときの希釈倍率（臭気濃度）の対数値に10を乗じた値

臭気指数＝10×Log（臭気濃度）

図3　臭気指数の導入と算出方法[2)]

第3号基準は，第1号基準値+16と決められ，三点比較式フラスコ法で測定評価する．

周辺住民の生活環境が改善されない場合は，市町村長は，悪臭原因物を発生している事業者に対し，改善を命令することができる．また，悪臭原因物の排出防止設備の設置，事故時の状況および応急措置等の必要な報告を求めることができる．

図3に臭気指数算出方法[2)]を示す．臭気指数は試料を臭気が感じられなくなるまで無臭空気で希釈したときの希釈倍率（臭気濃度）の対数値に10を乗じた値で平成7年に導入された評価指標である．物質濃度による規制では補足できない複合臭や未規制物質による臭気も補足することができる．においの相加・相乗等の効果を評価でき，住民の悪臭に対する被害感覚と一致し易く，国際的に実施されている方法である．

3. これまでの問題点と課題

3.1　臭気の発生源と成分

図4，5にコールドボックス中子製造とシェルモールド中子製造における臭気発生を示し，**図6**に鋳造冷却ラインでの臭気発生を示す．**表5**に中子・鋳造ラインの臭気成分を示す．

中子製法のひとつであるコールドボックス法では促進剤としてフェノール樹脂，硬化剤としてポリイソシアネートを砂に添加しトリエチルアミンガスを充填硬化させるため，臭気が発生する．シェルモールド法ではフェノール

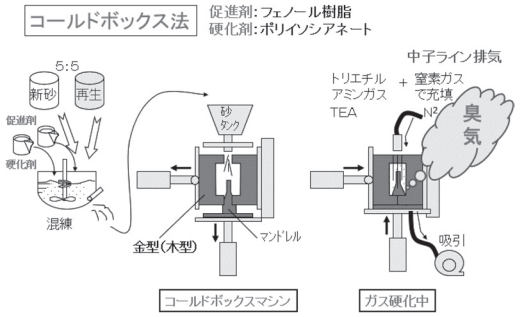

図4　コールドボックス中子製造における臭気発生[3)]

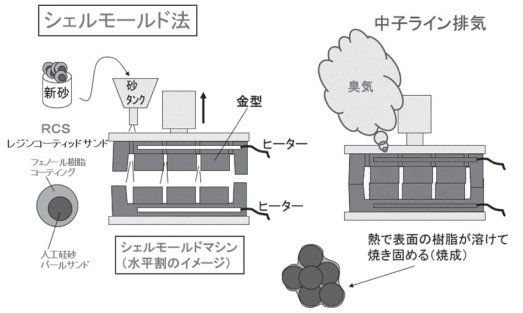

図5　シェルモールド中子製造法における臭気発生[3)]

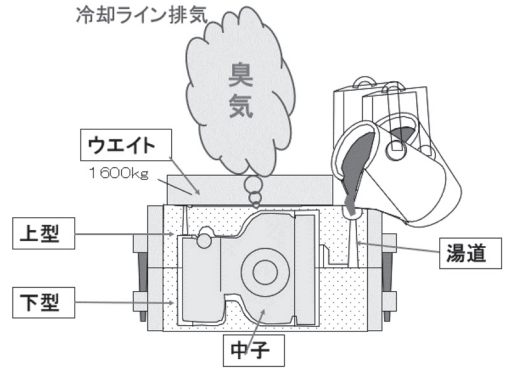

図6　鋳造冷却ラインにおける臭気発生[3)]

表5　中子・鋳造ラインの臭気成分

工程	臭気成分	備考
中子ライン	ベンゼン アンモニア アルデヒド	造形法：シェルモールド
	アミン	造形法：コールドボックス
鋳造ライン（注湯，冷却，枠バラシ）	ベンゼン アンモニア アルデヒド アミン	

樹脂をコーティングした人工珪砂を用い，熱で焼き固めるときに樹脂が溶けて臭気が発生する．

コールドボックス法ではアミン，シェルモールド法ではベンゼン，アンモニア，アルデヒドが臭気成分である．

鋳造冷却ラインでは，これらが熱分解することによって複合臭気が発生することになる．

3.2　従来の対策例

中子の消臭対策として香料や着色料等を含まず天然成分のみで作られた臭気中和剤「エコソーブ」[4)]（以下，ESと称す）を使用している．ESは，直接におい成分に作用する反応型の消臭剤である．

臭気に対する消臭作用例を**図7**に示す．例えば，アンモニアやトリエチルアミンにESが反応すると，植物油が有機アニオンとなり，最終的には無臭で微生物や酸化によって分解される安全無害な有機塩を形成することで消臭される．

表6に中子工程の消臭効果を示す．添加量を変えて4回のサンプル測定を行ったが，臭気指数27（臭気濃度500）の原臭は，ES添加により臭気指数21（臭気濃度130）まで改善されることが確認できた．

ESは，米国環境保護庁（EPA）の認証制度で認められた安全で環境にやさしい製品で，発がん性，生殖毒性，発達毒性等の懸念のある化学物質を含有していないこと等，厳しい審査基準を満たしている製品認証（Design for Environment;DfE）を取得している．

中子工程では，ES気化装置と気化散布管を生産ラインに設置して消臭対策を行っている．

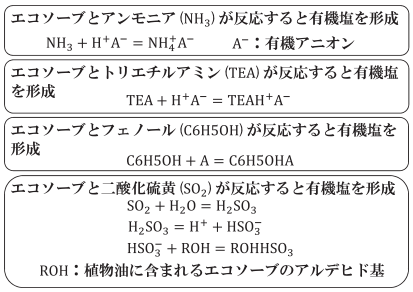

図7　臭気に対するエコソーブ作用[4)]

表6　中子工程の消臭効果

採取日	サンプル	臭気指数	臭気濃度
3/16	原臭	27	500
	エコソーブS　200ml/hの添加量	22	160
	エコソーブS　300ml/hの添加量	21	130
4/15	原臭	24	250
	エコソーブS　250ml/hの添加量	22	160
	エコソーブS　350ml/hの添加量	21	130

3.3　鋳造冷却ライン

図8に鋳造冷却ライン排気の状況を示す．鋳造工場から，冷却ライン排気（2000m^3/min）を行っているため，黒煙と鋳物臭が常時排出されていた．風の向きや強さにより周辺地域の生活環境に影響を及ぼす．大阪市環境規制値である臭気指数10以下を遵守するために，脱臭と無煙化の課題解決が不可欠であった．

鋳造冷却ライン排気における問題点と課題は以下である．

① 鋳造冷却ラインの排気は，集塵機等を経由せずに2000m^3/minを直接大気放出していたため，黒煙と鋳物臭が常時排出されていた．

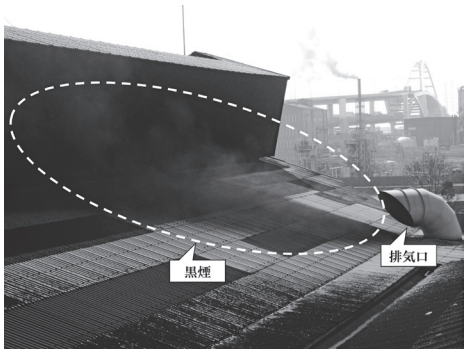

図8　鋳造冷却ライン排気

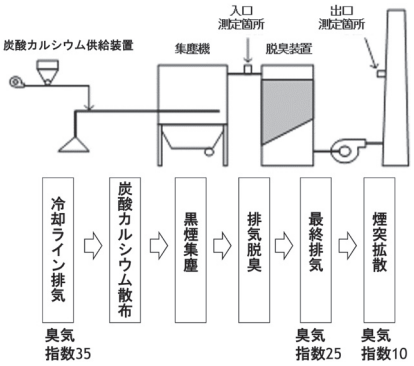

図9　排気ガス処理フロー

表7　排気ガス成分分析（2014年8月測定）

ガス成分	濃度（ppm）	判定
アンモニア	6.7	臭気指数 34～36 （濃度2500～4000）
トリメチルアミン	0.23	
ホルムアルデヒド	0.2以下	
アセトアルデヒド	2.8	
ベンゼン	1.0	
石炭微粉	データなし	黒煙
タール	データなし	

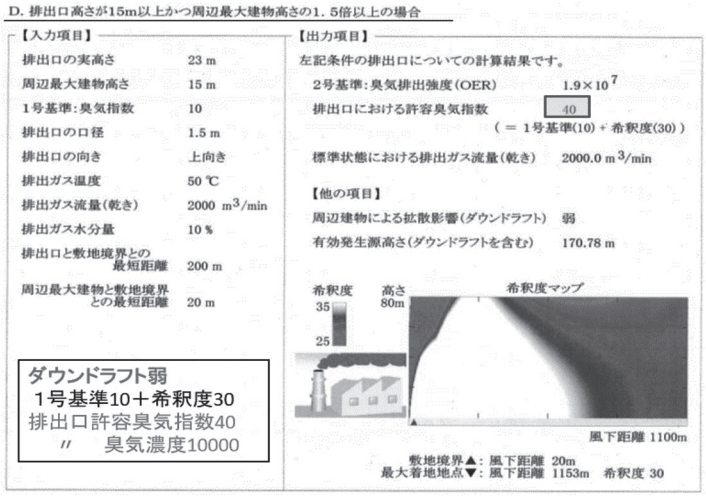

図10　環境省においシミュレーター（臭気指数第2号規制基準算定ソフト）の結果（表示画面）

② 排気ガス成分分析を**表7**に示す．製品によって数値にはバラツキがあるが，アセトアルデヒド，ベンゼン，アンモニア，トリメチルアミン，ホルムアルデヒド，タールであることが分析の結果判明している．

臭いは鋳物製造に欠かせない中子の硬化促進剤や鋳造での主砂に添加する石炭粉等が主要因と推定できる．

③ 従来の臭気対策として，中子ラインで実績のある「エコソーブ」消臭剤を集塵機の大気放出前に煙道中に散布して消臭を行っていたが，完全に消臭することは難しい状況であった．

④ 臭気に関しては風向き，強さにより事業所外への影響リスクが高く，近隣住民からの苦情への対応のためには，恒久的な対策を実施することが必要となった．

⑤ 黒煙中には有害物質は含まれていないが，主砂に石炭粉を混ぜている関係でタール分を多く含んだ黒い煙が発生しており，脱臭化と共に無煙化の排気処理が不可欠となった．

4. 無煙化及び脱臭対策

無煙化と脱臭の両方を満たす方式として，炭酸カルシウム粉（トナー）でタール分を吸着させ，集塵機で吸着物を除去し，その後に臭気成分を脱臭槽で脱臭する「炭カル集塵活性炭方式」を新たに開発して対策を行った．

本対策における排気ガス処理フローを**図9**に示す．装置構成は，炭酸カルシウム供給装置，集塵機，活性炭吸着塔，排気塔から構成されており，目標臭気指数を示す．

煙突から排出される排出口での排出ガス濃度は，**図10**に示す環境省の「においシミュレーター」（臭気指数第2号規制基準算定ソフト）[5]を使用し，周辺最大建物高さ15m，排出ガス流量2000m^{3}N/min，敷地境界線上の臭気指数10等の条件にて算出し，煙突の高さを23m，排出口における許容臭気指数40に決定した．

具体的な対策内容を以下に示す．**図11**に集塵機，脱臭層，排気煙突で構成される脱臭・集塵装置を示す．排気臭と黒煙の2つの問題を同時に解決するために，脱臭には活性炭吸着と黒煙には炭酸カルシウム散布集塵の両方式の併用によって対策を行っている．図11の脱臭・集塵装置における詳細な脱臭・集塵方法を以下に述べる．

① 集塵ダクト配管系に炭酸カルシウムを自動散布して，黒煙・タールと絡めて集塵機で回収することによって黒煙の無煙化を図る．**図12**に炭酸カルシウム投入装置を示す．この時，黒煙中のタール分は炭酸カルシウムと混ざって集塵されることになる．

② 前段で黒煙処理が終わっても排気中に臭いが残るので，集塵機の排気側に活性炭吸着塔を設置して臭気の脱臭処理を行う．活性炭は，椰子殻活性炭を用いる．活性炭吸着塔では，活性炭の間を排気臭をくぐらせることによって活性炭に臭い成分を吸収させ脱臭する．活性

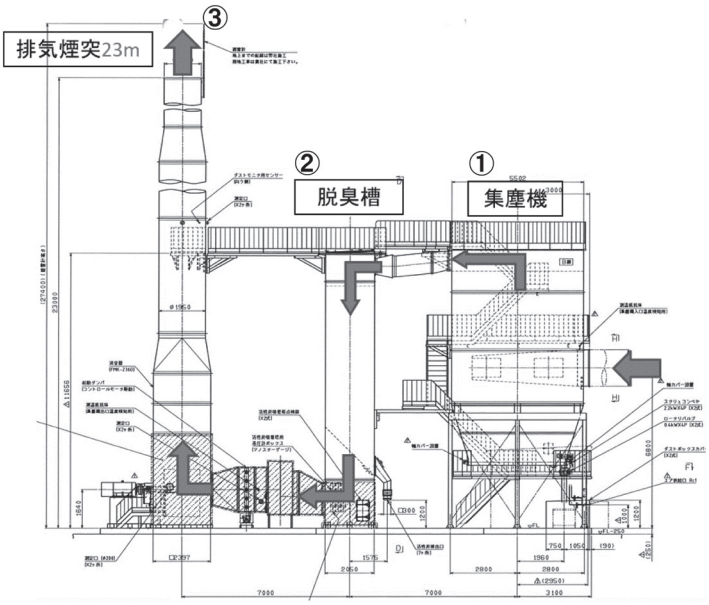

図11　脱臭・集塵装置

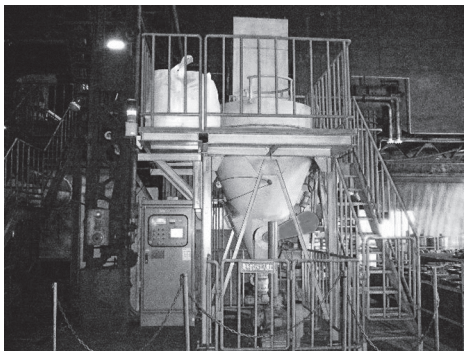

図12　炭酸カルシウム投入装置

炭は取替え式にして焼成リサイクルして再使用する．

③ 排気管には臭気センサーを設置し，臭気濃度を常時監視する．基準値を越えた場合は警報出力する．

さらに，臭気濃度監視装置は，脱臭装置本体と敷地境界にある事務所屋上にも設置して常時監視を行っている．大阪市規制値である敷地境界での臭気指数10以下を実現すると同時に，地域住民からの苦情ゼロを維持する．

5. 効　　果

図13に設置後一年間の脱臭装置入口と出口の臭気指数推移を示す．脱臭・集塵装置設置の2015年2月～2016年2月まで脱臭装置の入口と出口の臭気指数を2か月ごとに測定し評価した．7月～10月の臭気指数は出口の方が入口より臭気指数が高く，その原因は，夏場の気温上昇に伴い活性炭が吸着成分を放出したためと判明したので，夏に活性炭交換を実施している．また，夏場は，排気中の油分の粘度が下がり，炭酸カルシウムとよく絡まることで入口側の臭気指数が下がり脱臭にも効果があることがわかった．

さらに夏場はタール成分が炭酸カルシウムに絡まり集塵機ろ布の目詰まりが発生していた．その対策として，衝撃エア洗浄によりダストを落下除去させることで目詰まりを解消し，ろ布性能を回復させている．

表8に運用開始時の脱臭装置前後の臭気測定結果を示し，**表9**に運用開始1年後の脱臭装置前後の臭気測定結果示す．1年間で脱臭効果は低下してくるものの排出口許容臭気指数40を超えない事が継続測定の結果から明らかになった．

また，**図14**に無煙化の排気状況を示す．図8の黒煙流出状況と比較しても無煙化できていることが確認できる．結果，近隣住民からの苦情もなく，大阪市の環境規制値を常時遵守している．

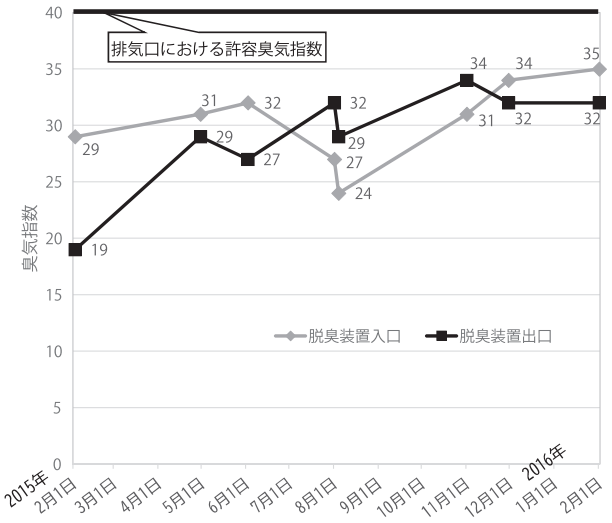

図13　年間臭気指数推移と効果確認

表8　運用開始時（2015年2月3日）の脱臭装置前後の臭気指数と臭気成分

項目	入口	出口
集塵機排気口　臭気指数 （臭気濃度）	29 (790)	19 (79)
アンモニア (ppm)	4.9	0.5
トリメチルアミン (ppm)	0.0030	0.0006
ホルムアルデヒド (ppm)	0.3	0.2未満
アセトアルデヒド (ppm)	0.2未満	0.2未満
ベンゼン (ppm)	0.9	0.1未満
東浜敷地境界　臭気指数 （臭気濃度）	10未満　＜参考値：2＞ (10未満　＜参考値：3＞)	

表9　運用開始1年後の脱臭装置前後の臭気指数と臭気成分

項目	入口	出口
集塵機排気口　臭気指数 （臭気濃度）	35 (3200)	32 (1600)
アンモニア (ppm)	6.7	2.7
トリメチルアミン (ppm)	0.23	0.13
ホルムアルデヒド (ppm)	0.2未満	0.2未満
アセトアルデヒド (ppm)	0.2未満	0.2未満
ベンゼン (ppm)	0.6	0.6
東浜敷地境界　臭気指数 （臭気濃度）	10未満　＜参考値：2＞ (10未満　＜参考値：3＞)	

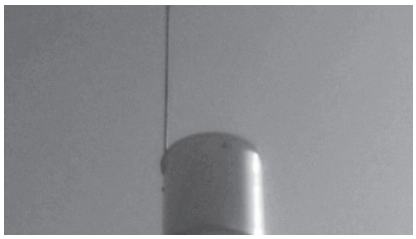

図14　無煙化の排気状況

6. まとめ

今回，黒煙と臭気対策として設置した炭酸カルシウムを活用した集塵と活性炭吸着方式の排気処理により，ライン排気での臭気を排気処理装置で大幅に低減でき，排気処理装置出口での臭気指数を常時許容臭気指数40以下に抑えることができた．また，23mの煙突から排気することで敷地境界上の臭気指数10を達成し，同時に煙突排気口から黒煙も観察されなかった．

これにより目標とした以下の項目を達成することができた．

1）鋳造冷却ライン排気の無煙化と排気臭の低減．

2）大阪市環境規制値である臭気指数10以下の遵守．

3）周辺住民からの苦情ゼロの維持．

鋳造工場の近隣環境負荷低減のために，炭酸カルシウム散布と集塵機及び脱臭装置の導入によって，大気と臭気の環境改善を図ることが可能となった．これによって大阪市環境規制値を遵守すると共に地域の環境保全にも寄与している．

株式会社クボタ恩加島工場は，創業105周年を迎える歴史の古い工場であるが，今後とも粉塵，振動，騒音，大気，臭気といった地域の環境保全に配慮しながら持続可能な都市型鋳造マザー工場として存続していく．

参考文献

1）坪田博隆：鋳造工学会講演概要集 **169**（2017）25

2）環境省：「悪臭防止行政の今後の動向」平成30年度第1回臭気対策セミナー講演資料集（公社）におい・かおり環境協会編（2018）5

3）坪田博隆：平成30年度第1回臭気対策セミナー講演資料集（公社）におい・かおり環境協会編（2018）34

4）株式会社エコロ；http://ecoro.com

5）環境省；http://www.env.go.jp/air/akushu/simulator/

公益社団法人日本技術士会 近畿本部登録 近畿PE技術相談室
https://kinkipesodan.xsrv.jp