

高効率固液分離システム (NCST)

High Efficient Solid-liquid Separation Technology

島 瀬 正 博*
Masahiro SHIMASE盛 一 慎 吾
Shingo MORIICHI贅 川 拓
Taku NIEKAWA加 藤 由希子
Yukiko KATO

抄 録

製鉄業は用水多量使用産業であり、鉄 1 トンを製造するために水を 190 トン程度使う。その用途は、機器間接冷却水、ガス清浄用集塵水、鋼材直接冷却水等、多岐に亘る。連続鋳造、熱間圧延、厚板等の直接冷却水は、スラブや鋼板の表面に生成する酸化鉄スケールを除去するとともに、冷却による鋼材の組織制御を行う観点から極めて重要であり、そのため、工場内の小配管や散水ノズルの閉塞防止等の設備管理が大切である。今回、直接冷却水等の循環水に含まれる固形物 (SS) や油を効率的に除去できる水処理システムの開発に成功した。工場給水水質の抜本的改善を行えるとともに、水処理設備の省プロセス・省エネルギーが期待できる。

Abstract

Steel industry uses large quantities of water, generally requiring approximately 190 ton of water to make 1 ton of steel. There is a variety of use, such as indirect cooling of machinery, collecting particles and pollutants from gas streams, and direct cooling of steel. In the process of continuous casting, hot rolling, and plate rolling, direct cooling water is not only essential to remove iron oxide scale from surface of slab and steel sheet, but also control steel structure. Therefore, facility maintenance plays an important role to prevent a blockage of spray nozzles and small pipes in factory. We were successful in developing a water treatment chemical, efficiently removing SS and oil in circulated water of direct cooling. It enables the drastic improvement of circulated water quality to supply factory, and moreover both energy saving and compact process of water treatment plant are expected.

1. 緒 言

鉄鋼業は用水多量使用産業であるが、用水の大半は冷却水として用いられる。冷却水は、炉体や機器等を間接的に冷却する“間接冷却水”と、鉄鋼製品や生産設備に直接散水する“直接冷却水”に大別されるが、いずれも循環使用されている。本論文に係る直接冷却水の一般的な排水処理フローについて、以下簡単に説明する (図1)。

連続鋳造設備、熱間圧延設備等で使用される直接冷却水は、鋼材表面から剥離した酸化鉄スケールや圧延油とともに、ライン直下にあるスケールスルースを経由してスケールピットに流入する。一般的な排水処理プロセスでは、スケールピットで粒径 100 μ m 以上の粗大 SS (以下粗粒と略す) を沈降分離、スケールピットで除去できなかった粒径 100 μ m 以下の微細 SS (以下微粒と略す) を後段の沈殿池・濾過器等で除去する。なお、循環水中の油の大部分は微細

SS の表面に付着しているため、SS 除去と同時に循環水から分離される。最後に冷却塔で循環水の熱処理 (抜熱) を行い工場に給水する。

上述した一般的な排水処理フローに対し、工場給水水質を抜本的に改善できるとともに、排水処理設備の省プロセス・省エネルギーを図ることを可能とする新しい排水処理技術“NCST (New Clear Stream Technology)”の開発に成功した。

スケールスルース等の強攪拌の水流条件下 SS および油を大量に含む排水に新規水処理薬品 (以下 NCS と略す) を添加するだけで、排水中に存在する微粒が粗粒に付着し、粗粒とともに過半の微粒をスケールピットで沈降分離できる。したがって、従来の排水処理プロセスにおいて、沈殿池や濾過器で処理していた SS・油がスケールピットにて殆ど沈降分離され、排水処理プロセスが大幅に簡素化できる。

また、従来の排水処理プロセスへの NCST 適用により、

* 日鉄住金環境 (株) 水ソリューション事業本部 鉄鋼水道事業部 水道技術部 水道技術室 課長 千葉県君津市君津 1 番地 〒 299-1141

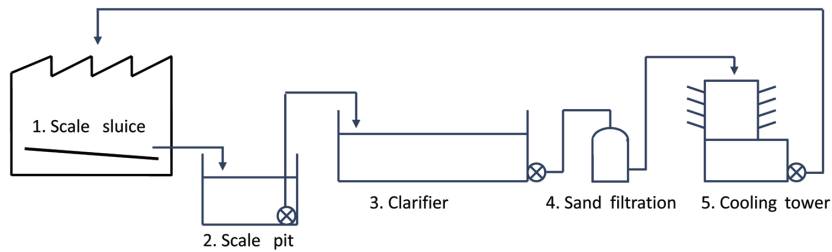


図1 直接冷却水の水処理フロー
Flow to water-treat of the direct coolant

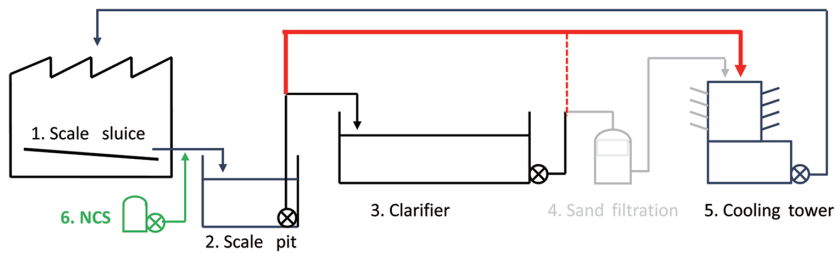


図2 NCST適用後の直接冷却水の水処理フロー
Flow to water-treat of the direct coolant after the NCST application

連続鋳造設備、熱間圧延設備等の直接冷却水の給水水質が抜本的に改善され、工場内の小配管や散水ノズル閉塞の軽減が期待できる。したがって鉄鋼生産設備は、設計値に近い形で鋼材等の冷却制御が可能となり、鉄鋼製品の品質改善および歩留まり向上が期待できる。

本論文では、NCSTの技術概要を紹介するとともに、既にその効果が実機ベースで確認できた水質改善効果および水処理設備の省プロセス・省エネルギーの可能性を中心に報告する。

2. NCSTが提供するソリューション

2.1 NCST 導入の効果

水処理設備を維持管理する観点から、保全対象設備はできる限り少ない方がよい。しかしながら、水処理設備は簡素化するほど一般的には水質が悪化し、工場の要求する水質を維持することが困難となる。そのような中、水処理設備簡略化と、良好な水質維持の両方を達成できる技術開発を目指した。微粒と油を粗粒へ付着させることで、粗粒と共にスケールピットで沈降分離させることを考え、これを実現可能とするNCSの開発に成功した。

従来の凝集処理は、無機凝集剤、例えばポリ塩化アルミニウム（Poly Aluminum Chloride：PAC）を処理対象水に添加し、次いで高分子凝集剤を添加後、沈殿池で沈殿分離する。この場合、PACを反応させる急速攪拌槽、高分子凝集剤を反応させる緩速攪拌槽、沈殿池に加え、各薬品の薬品注入設備が必要となる。一方、NCSTは、NCS1液をスケールスルースに添加するだけで良いため、必要な設備は薬注タンクとポンプのみである。

スケールスルースに添加されたNCSは極めて短時間に

対象水中のSS（微粒と粗粒とからなる）に反応し、微粒が粗粒へと付着した凝集体を形成する。この凝集体はスケールピットですみやかに沈降分離されるため、スケールピット出口時点でSSの処理が完了する。NCST適用後の水処理フローを図2に示す。

2.2 NCSTの処理機構

NCSTは、NCSにより微粒を粗粒へ付着させる技術である。さらに、油が併存する場合には、油を粗粒へ付着させることもできる。このNCSとは、高分子凝集剤（アクリルアミドとカチオン基を有する単量体の共重合体）に分類されるが、一般的な高分子凝集剤と比較してNCSの特異な点は、微粒を粗粒へ付着させる能力が高いことである。以下にNCSの能力の違いに関する特性を、図2に示す試験方法により一般的な高分子凝集剤と比較した結果を示す（図3）。

まず、イオン性で比較するとアニオン性、ノニオン性に比べ、カチオン性の高分子凝集剤とNCSの方が良好なSS処理性を示した（図4）。これは、一般に、微粒の表面は負に帯電し静電反発力を持つが、カチオン性の薬品により静電反発力が中和され、凝集が引き起こされたためと考えられる。

次に、同じカチオン性の薬品を比べる。NCSを用いた場合には、上澄水のSS濃度は10mg/L以下であった。しかし、カチオン性高分子凝集剤の場合、SS濃度は20mg/L以下に到らず、図には示していないが、注入率をさらに増やしても20mg/L以下へ到達しなかった。このとき、上澄水に残存した微粒を観察すると、微粒の凝集体が観察された。このことから、微粒同士の凝集体の生成が、カチオン性高

分子凝集剤とNCSとのSS処理性の違いに関与すると考え、それぞれの薬品で処理して得られた沈殿物をSEMで観察した。

カチオン高分子凝集剤の場合、微粒同士は $20 \sim 50 \mu\text{m}$ 程度の凝集体を形成し、その凝集体が粗粒へ付着しているものと、粗粒とは別に存在する様子が確認された(図5)。一方、NCSで処理した沈殿物の観察からは、微粒の凝集体は $5 \sim 20 \mu\text{m}$ 程度でカチオン高分子凝集剤に比べて小さく、その凝集体が粗粒へまばらに付着していることが確認された(図6)。すなわち、NCSは、微粒を比較的成長させずに粗粒へ付着させる特性を有すると推測される。

以下、NCSとカチオン高分子の微粒の凝集性の違いについて凝集機構を考察する。カチオン高分子凝集剤による微粒の凝集機構については不明な点が多いが、凝集機構として電荷中和作用¹⁾と架橋作用²⁾が提案されている^{3,4)}(図7)。

試験で用いた試験条件に類似する研究例では、凝集の主要因は電荷中和作用と報告されている⁵⁾。凝集の主要因が電荷中和にある場合、一般に、凝集試験による最適凝集剤注入率と、微粒の負電荷の中和に要する凝集剤の注入率が一致する。一方、NCSを注入した場合の微粒の負電荷の変化をゼータ電位の測定により確認した結果、最適注入率

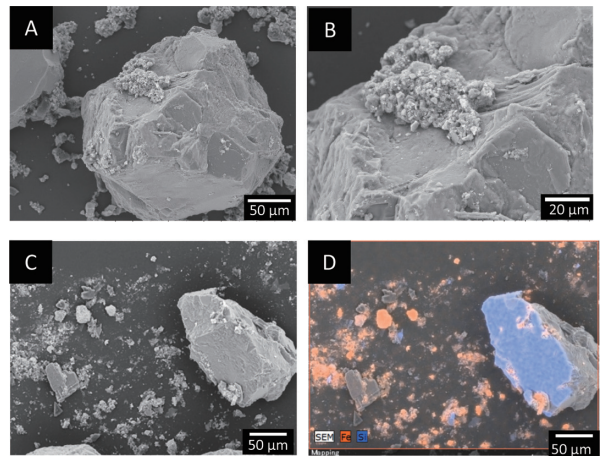


図5 一般的なカチオン高分子凝集剤で処理された沈殿物のSEM画像

(A) 微粒凝集体の粗粒への付着状態, (B) 沈殿物に付着した微粒の拡大図, (C, D) 元素のマッピング図
赤色: Fe (微粒), 青色: Si (粗粒)

SEM images of precipitates obtained with conventional cationic polymer

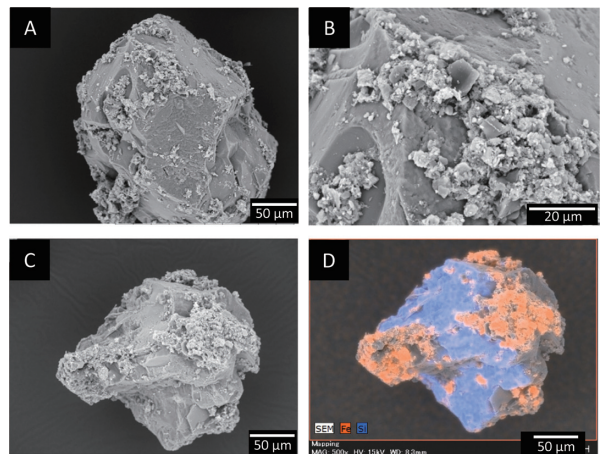


図6 NCSにより処理された沈殿物のSEM画像

(A) 微粒凝集体の粗粒への付着状態, (B) 沈殿物に付着した微粒の拡大図, (C, D) 元素のマッピング図
赤色: Fe (微粒), 青色: Si (粗粒)

SEM images of precipitates obtained with NCS

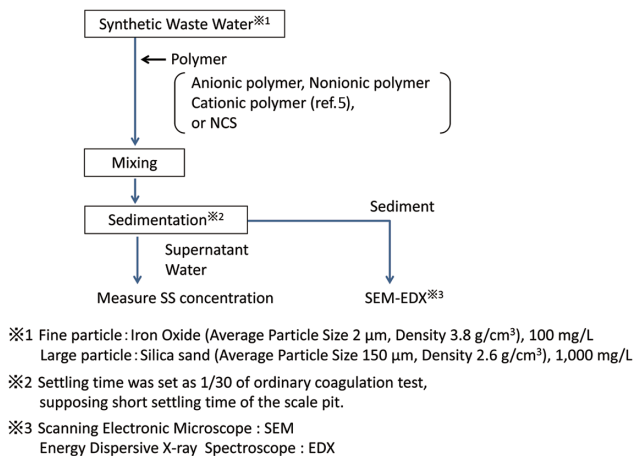


図3 試験方法
Test method

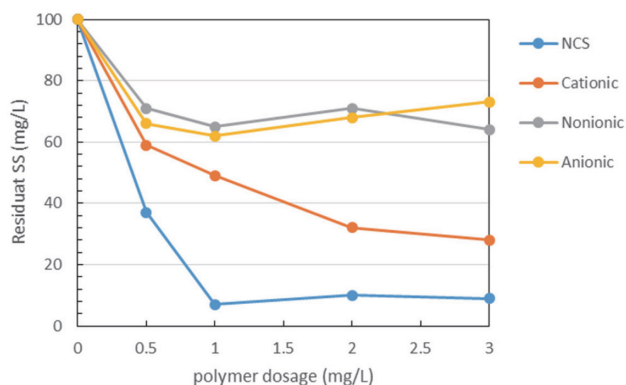


図4 NCSと一般的な高分子凝集剤のSS処理結果
SS treatability of various polymers

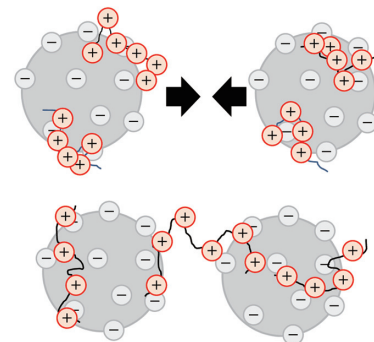


図7 (上) 電荷中和作用モデル

粒子の負電荷をカチオンにより中和することで粒子間の静電反発力を消失させ、凝集を引き起こす作用

(下) 架橋作用モデル

高分子が van der Waals 力、疎水相互的作用により粒子に吸着し、粒子同士を架橋する作用

Schematic representation of flocculation mechanisms

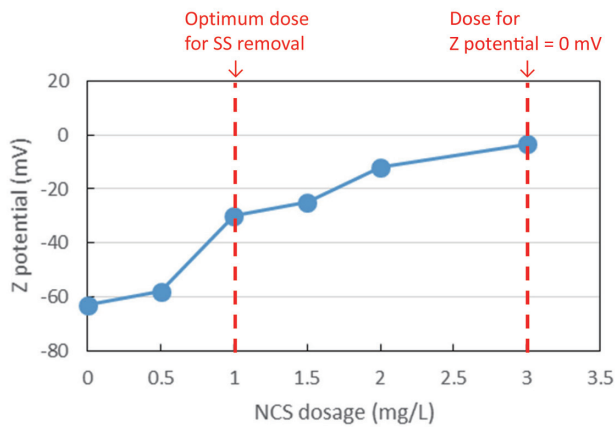


図8 NCS 注入率と微粒の表面電位との関係
Zeta potential of particle against NCS dose

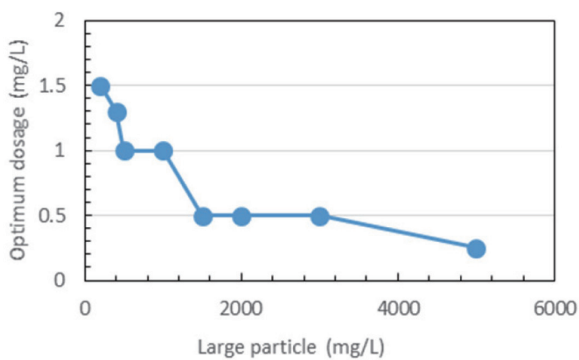


図9 粗粒濃度と NCS 最適注入率
Optimum dosage of NCS on various large particle concentration

(1mg/L) は、電荷を中和しきるのに要する注入率 (3mg/L) に比べて顕著に低い値であった (図8)。このことから、電荷中和は NCS による凝集の主要因である可能性は低く、むしろ、架橋作用の寄与が大きいと推察される。

また、粗粒濃度を 2000mg/L、5000mg/L と高めて、上記した試験と同様の試験を行ったところ、粗粒濃度が高いほど凝集剤の最適注入率が少なくなる結果が得られた (図9)。粗粒の表面も負に帯電していることを鑑みると、高濃度粗粒存在下で、電荷中和による凝集を引き起こすためには、より高濃度のカチオン高分子凝集剤が要求されるはずである。しかしながら、得られた結果はこれとは相反する。これは、NCS の場合、電荷中和作用ではない別の因子、すなわち、架橋作用の寄与が大きいことをさらに示唆するものであるといえる。

以上のことから、NCS の特性をまとめる。

- NCS は微粒を粗粒へ効率的に付着させることができる新たな薬品である。
- NCS による凝集機構としては、架橋作用モデルの寄与が大きいと考えられる。
- 言い換えれば、NCS は微粒を粗粒へ選択的に付着させる能力を有する高分子凝集剤である。

ここまで NCS による微粒の粗粒への付着作用について

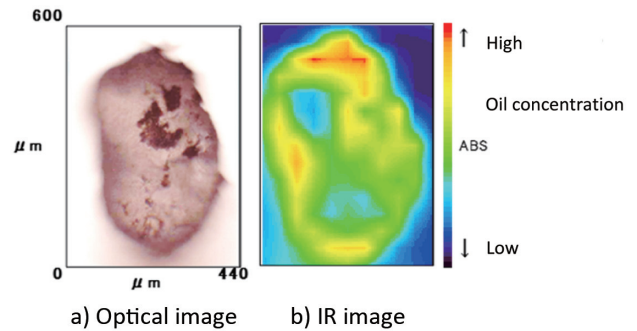


図 10 NCS 処理沈殿物の油と微粒の顕微 IR 観察結果

a) 光学像

b) 波数 = 2992cm⁻¹ における赤外吸収画像 2992cm⁻¹ は -CH₂- の吸収に対応し、油が付着している場合は吸収が認められる

Images of a large particle attached with small particles and oil

述べたが、以下に、油の粗粒への付着について検討した結果を示す。この試験では、直接冷却水に含まれる油を濃縮したものと、前述の微粒、粗粒を混合した模擬排水を用いた。そして、NCS による処理を行い、沈殿物を採取した。次いで、採取した沈殿物上に付着した油を、顕微視野下における赤外吸収を指標として可視化した (図10)。粗粒の表面に油の存在が確認され、また、油の付着量が多い部分は、茶色の微粒が付着している部分と概ね一致していた。このことから、油は、NCS により微粒と共に粗粒へ付着したと推定される。

3. 適用事例～ CC 戻水場～

3.1 NCST 導入前の CC 水処理設備の特徴

CC 戻水場 (以下 CC と略す) は 1986 年に建設され約 30 年経過している。CC 工程の直接冷却に使用された水は、スケールスルースを通りスケールピットに至り、調整槽を経由した後に電磁フィルターで処理されていた (図11)。CC 建設当時、電磁フィルターの SS 除去効果は高く、工場への給水管理値 (SS : 20mg/L 以下、油 : 5mg/L 以下) を十分満足していた。しかしながら、近年は老朽化による電磁フィルターの機能低下に加え、設計当初からの排水性状の変化もあり、SS および油の除去率は低下傾向であった。循環水 SS、油濃度が増加した CC 工場では、ストレーナーや散水ノズルの閉塞等の事象が発生し、早急な循環水の水質改善が望まれていた。

3.2 NCST 適用後の実績

2012 年 6 月、CC で初めて NCST を適用した。NCST 適用前の電磁フィルター処理水 SS 濃度は 19mg/L に比べ、NCST 適用後の SS 濃度は電磁フィルターを停止しても 6mg/L に低下した。また、油は、適用前 7mg/L に対し、適用後は 1mg/L に低下した。NCST 適用前は茶色く濁っていたスケールピットも NCST 適用で極めて清澄になり (図

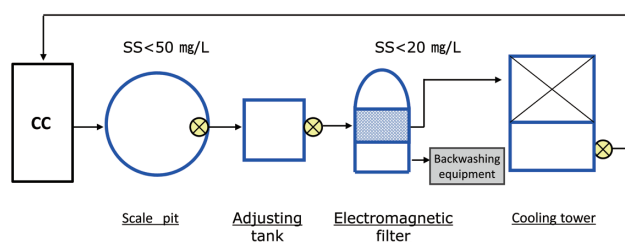


図 11 CC の水処理処理フロー（NCST 適用前）
Flow of water treatment process for CC (before applying NCST)

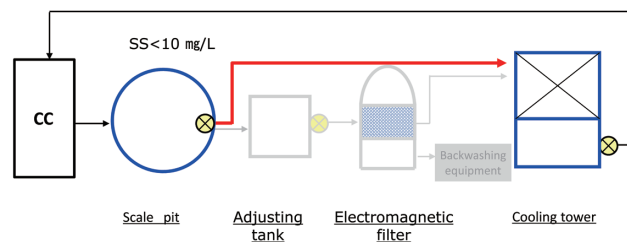


図 13 CC の水処理フロー（NCST 適用後）
Flow of water treatment process for CC (after applying NCST)



図 12 NCST 適用前後のスケールピット外観および、スケールピット処理水
左：NCST 適用前，右：NCST 適用後
Appearance comparison of the scale pit and the treated water
Left: Before applying NCST, Right: After applying NCST

表 1 NCST 適用前後の水質
Comparison of water quality (electromagnetic filter vs NCST)

Item of analysis	Before applying NCST (electromagnetic filter run)		After applying NCST (electromagnetic filter stop)	
	Treated water from scalepit	Supply water to mill	Treated water from scalepit	Supply water to mill
SS (mg/L)	37	19	9	6
n-hex (mg/L)	10	7	2	1

※ Before applying NCST data is the average of the 2011 fiscal year (number of experiments 35 times)

※ After applying NCST data is the average of the 2013–2015 fiscal year (number of experiments 105 times)

12)，大幅な水質改善を達成した。表1に NCST 適用前後の循環水，水質分析結果を示す。

CC は同年 9 月に電磁フィルターの停止後，約 4 年が経過している。現在も SS と油分の沈降分離はスケールピットのみで完結し（図 13），戻水場は冷却処理のみを行う簡潔な処理方法が実現している。

4. NCSTの効果と今後の展開

4.1 NCST により期待される効果

スケールピットで SS と油処理が完結すると，スケールピット後段の沈殿池，濾過器およびそれらに付随する逆洗排水設備が不要となる。沈殿池を予備として残す場合でもスラッジ堆積量が大幅に削減されるため定期保全が容易になる。また，処理水質は NCST 適用前より清澄になるために，冷却塔充填剤の閉塞が改善され，冷却効率が向上する。

清澄になった循環水を使用することで，工場では水質悪化に起因した圧延休止やピッチダウンの頻度が低減し，操業の安定化が可能となる。また，ポンプや弁類，ルーパールール等の整備コスト削減に加え，スプレーノズルの閉塞解消により鋼材への均一冷却が可能となり，製品歩留まりの改善効果も期待される。

4.2 CC 以外への展開

CC で NCST の効果が確認された後，他の製造工程でも NCST の実機適用確認試験を進めている。いずれの水処理場でも水質改善を達成し，現在は CC と圧延工程の水処理場で本格運用中である。

NCST は粗粒と微粒が混在する水であれば適用可能であることから，CC と圧延工程以外の水処理場へも，引続き展開を図る予定である。

5. 結 言

本論文では、NCST 処理機構を実験データで示すとともに、実機適用による水質改善事例を紹介した。NCST は、微粒を粗粒に付着させる能力の高い NCS をスケールピットに添加するだけの極めて簡便な水処理方法である。NCST を CC に適用した結果、既設の電磁フィルターを停止しても従来より良好な水質が確保できた。現在は CC 工場のみならず、圧延工場への適用を進めているが、いずれの工場においても水質改善を達成している。以上のことから、

NCST は大きな設備投資なく良好な水質を確保するための手段として有効であるといえる。

※ NCST は日鉄住金環境(株)の登録商標です。

参照文献

- 1) Ruehrwein, R.A., Ward, D.W.: Soil Sci. 73, 485-492 (1952)
- 2) Gregory, J.: Colloid Interface Sci. 42, 448-456 (1973)
- 3) 青木謙治 ほか：農業土木学会論文集. 245, 65-71 (2006)
- 4) 足立泰久：色材協会誌. 82 (7), 306-312 (2009)
- 5) 東谷公 ほか：化学工学論文集. 9, 5 (1983)



島瀬正博 Masahiro SHIMASE
日鉄住金環境(株)
水ソリューション事業本部 鉄鋼水道事業部
水道技術部 水道技術室 課長
千葉県君津市君津1番地 〒299-1141



盛一慎吾 Shingo MORIICHI
日鉄住金環境(株)
技術本部 技術研究部 マネジャー



賛川 拓 Taku NIEKAWA
君津製鉄所 安全環境防災部 環境防災室
主幹



加藤由希子 Yukiko KATO
設備・保全技術センター
土木建築技術部 水道技術室