

## 大気圧放電処理した二酸化チタン懸濁液の防除効果について

平成20年度さが中小企業応援基金事業を活用し、放電処理した二酸化チタン粉末の懸濁液の防除効果、光触媒機能、有機物に対する吸着機能の有無を確認するため、試験を行った（別添1、2）。

その結果、二酸化チタンの植物病害に対する防除効果については、人工気象器内16,500ルクスの照度（冬場の日中 薄い曇天程度）での環境において、この光照射と併せ、二酸化チタン懸濁液を投与した結果、キュウリ-ウリ類炭疽病菌に対して、蛍光灯照射のみ処理した試験区と比較して有意に高い防除効果を得られることが明らかになった（別添1）。

さらに、二酸化チタンの光触媒活性及び有機物に対する吸着機能については、メチレンブルーを用いた色素分解（光照射）試験及び吸着量測定試験を実施した結果、大気圧放電処理を行った二酸化チタンは放電処理を行っていないものと比較して、有機物への吸着量が増していること、光触媒活性が高まっていることが確認された（別添2）。

## 「二酸化チタンの薬理効果の解明」 成果報告書

平成22年1月14日

神戸大学農学研究科

朴杓允、池田健一、井上加奈子、土佐幸雄

はじめに

二酸化チタンの植物病害に対する防除効果を評価した。まず、簡便な評価が行える人工接種条件を確立するために、種々の植物—病原菌の組み合わせを用い、二酸化チタン処理における防除効果を評価した。用いた組み合わせは、(1) 単子葉植物であるコムギとうどんこ病菌・いもち病菌の組み合わせ、(2) 双子葉植物であるキュウリとウリ類炭疽病菌の組み合わせを用いた。

### 1、コムギ—うどんこ病菌、いもち病菌システムでの二酸化チタン防除効果の検証

#### (1) 二酸化チタンの病原菌への影響

はじめに

いもち病菌に対して二酸化チタンを処理した際に、どのような影響を及ぼすのか評価した。二酸化チタンの影響により、病原菌が細胞死を引き起こしているのか、あるいは病原菌が植物内へ侵入する際に重要な器官である付着器の形態形成過程に影響を及ぼしているのか、顕微鏡観察を行った。

実験方法

チタンを処理したいもち病菌孢子懸濁液をプラスチックシートに滴下し、24時間後の形態変化を光学顕微鏡にて観察した。また、病原菌の表面に二酸化チタンが吸着しているのかを明らかとするために、元素分析の行える走査型電子顕微鏡を用いた観察も行った。

実験結果

二酸化チタンを処理したいもち病菌孢子発芽体は、死滅することなく生育し、孢子から伸長した発芽官や付着器が早期に黒色化する傾向が認められた(図1)。この黒色化した領域を拡大してみると、顆粒状の物質が認められ、病原菌自体が着色したのではなく、二酸化チタンが病原菌に多数吸着して着色していることが考えられた。この可能性を明らかとするために、走査型電子顕微鏡観察を行い、元素分析を行ったところ、いもち病菌発芽体周辺に二酸化チタンが特異的に吸着していることが明らかとなった(図2)。さらに、二酸化チタン処理区に光を照射した場合、二酸化チタン処理して暗黒下で培養した場合あるいは二酸化チタンを処理していない通常の孢子発芽体と比較して、付着器の形成が早くなる傾向が認められた(図1)。

## 考察

二酸化チタンはいもち病菌孢子発芽体（発芽管・付着器）へ特異的に吸着していることが明らかとなった。この吸着作用の機構については不明であるが、二酸化チタンの有する親水性誘導作用が影響している可能性も考えられる。また、二酸化チタン処理区＋光照射区で付着器の形成が早まったことより、二酸化チタンの結合と光照射による作用で細胞壁の状態が変化し、急速に付着器形成が誘導されたことが考えられた。

### （２）二酸化チタンの防除効果

#### はじめに

二酸化チタンの防除効果を検証するに当たり、簡便な接種システムを用いて評価することが求められる。コムギ初生葉を用いることにより、播種から1週間で接種、接種後1週間以内（計2週間）で検証可能となる。これまでの実験において、二酸化チタンが病原菌に特異的に吸着することが示されたが、この吸着作用が病害防除作用に影響を及ぼしているのかどうか明らかとした。

#### 実験方法

うどんこ病菌接種実験においては、病原菌接種前日に二酸化チタン（500-1000倍、展着剤として1/10000 Tween 20添加）を噴霧し、さらに接種2時間前にも同様の処理を行った後に、うどんこ病孢子を接種源（うどんこ病菌孢子を多数形成した病斑部）より吹き付け接種を行った。

また、いもち病菌接種実験においては、接種前日に二酸化チタンのみを同様に噴霧し、いもち病菌孢子懸濁液（孢子濃度は $1 \times 10^4$ 個/mlとした）と二酸化チタンの混合液を噴霧あるいは滴下接種した。接種した植物体は湿度を保った条件で蛍光灯（弱光1650ルクス、強光16500ルクス）およびBLB（black light blue: near ultraviolet 360 nm）ライト照射下で静置した。滴下接種して4日後の病斑形成程度を4段階のDisease Indexで評価した（0: 無反応, 1: 微小な褐点, 2: やや伸展した褐点を含む病斑, 3: 伸展した水浸状病斑）。

#### 実験結果と考察

今回、設定した接種条件においては、うどんこ病菌・いもち病菌いずれの病原菌処理区においても病気の発生が認められた（病気の発生は増強したようにも観察された）（図3、4）。病原菌に特異的に二酸化チタンが吸着し何らかの作用を及ぼすことは明らかとなったが、その作用は、病害防除作用に結びつくものではなかった。この接種条件においては、病原菌側への毒性を発揮していると結論付けることはできなかった。さらに、植物側にも抵抗性を誘導する能力を有していると結論付けることはできなかった。

今回の接種システムは単子葉植物を用いたものであったが、二酸化チタンは双子葉植物に効果的に働く可能性も考えられたため、次に、双子葉植物であるキュウリを用いた接種システムを検討した。

## 2、キュウリーウリ類炭疽病菌システムでの二酸化チタン防除効果の検証

はじめに

コムギを用いた単子葉植物の実験系においては、二酸化チタンの病害防除効果が顕著に認められなかったために、双子葉植物のキュウリを用いてウリ類炭疽病菌の接種実験を行った。

実験方法

病原菌接種前日に二酸化チタン（500-1000倍）を噴霧し、ウリ類炭疽病菌孢子懸濁液（孢子濃度は $1 \times 10^4$ 個/mlとした）と二酸化チタンの混合液 $20 \mu\text{l}$ を1葉に8滴ずつ滴下接種した。接種した植物体は湿度を保った条件でBLBライトあるいは蛍光灯照射下で静置した。24時間経過後に通常の栽培条件に戻した。前処理および病原菌孢子懸濁液処理時において、二酸化チタンの添加の有無とその後の培養時における光照射の有無を組み合わせた処理区を設けた。3-4日間経過後の病斑形成程度を5段階のDisease Indexで評価した（0：無反応，1：微小な病斑，2：やや伸展し黄変を含む病斑，3：滴下した7割程度の領域まで伸展した黄変病斑，4：滴下した全面において褐変を含む病斑）。

また、接種36時間後の植物の細胞反応を観察するために、接種部位の一部を切り取り、エタノール・酢酸（96:4）の脱色固定液に一晩浸漬し、0.1Mリン酸カリウムバッファ（pH 8.5）に緩衝後、0.5%アニリンブルー染色液に10分間浸漬処理し、リン酸カリウムバッファにて洗浄、リン酸カリウムバッファ・グルセロール混液（1:1）に浸漬処理した試料を光学顕微鏡観察・蛍光顕微鏡観察（キーエンス社BZ9000；WU蛍光フィルター使用）を行った。病原菌の付着器直下の植物細胞の反応について、抵抗性反応として知られているパピラ形成、過敏感反応（HR）の有無について蛍光反応を指標に評価を行った。

実験結果と考察

BLBランプ照射下での反応（図5、6）

BLBランプ照射を行った処理区において、病斑形成を評価したところ、二酸化チタン・光照射無処理区と比較して有意に病斑形成が抑制された。二酸化チタンを前処理のみ行った場合、前処理を行わず病原菌と同時処理した場合、前処理と同時処理いずれも行った場合において高い防除効果が確認された。しかしながら、二酸化チタンを処理せず、病原菌接種後にBLBランプを照射した場合においても病斑形成は抑制された。さらに、二酸化チタンを前処理・同時処理し、BLBランプ照射を前処理したが同時処理しなかった場合に病斑形成はほとんど抑制されなかった。

以上の結果は、二酸化チタンによる防除効果が認められるものの、それ以上にBLBランプ照射による防除効果の影響が大きいものであった。BLBランプ照射を前処理しただけでは防除効果が認められなかったことより、BLBランプ照射による近紫外光が植物側の抵抗性を誘導したことが原因ではなく、近紫外光が病原菌の侵入過程を阻害する作用を有している可能性が考えられた。

### 強光蛍光灯照射下での反応（図7、8）

BLBランプにより照射される近紫外光は病原菌の侵入行動に大きな影響を及ぼしたことより、この影響を軽減するためにBLBランプではなく蛍光灯照射に変更した。二酸化チタンの効果を発揮させるために、蛍光灯の本数・照射距離を近づけるなどして光量を増加させた。通常の実験室棚で栽培した際には、1650ルクス程度の照度であったが、人工気象器内では16500ルクスの照度を確保することができた。その結果、二酸化チタン処理と蛍光灯照射処理区において防除効果が認められた。蛍光灯照射のみ処理した場合にも防除効果は認められたが、二酸化チタンと蛍光灯照射を両方処理した場合の方が有意に高い防除効果が得られた。以上の結果から、二酸化チタンと光照射を同時に処理することにより防除効果が得られることが明らかとなった。

### キュウリ葉上における細胞反応（図8、9、10）

キュウリ葉上における付着器を観察し、その直下における病原菌の形態変化とキュウリ細胞の反応を観察した。炭疽病菌は正常に付着器を形成していたことより、二酸化チタンによる殺菌作用や付着器形成までの形態形成の異常は観察できなかった。また、孢子発芽体を観察したところ、二酸化チタンは主に孢子に吸着していることが明らかとなった（図9）。この結果はいもち病菌が主に発芽官・付着器に吸着した結果とは異なっていた。

一方、パピラ形成率は二酸化チタン・光照射処理区において顕著に高い結果であった（図8、10）。しかしながら、光照射を行わず二酸化チタンを処理した場合にもパピラ形成率が高かった（図8）。過敏反応（HR）率についてはそれぞれの処理区において頻度が異なっていたが、二酸化チタン・光照射処理区において頻度が有意に高い結果は得られなかった（図8）。以上の結果から、キュウリの抵抗性反応はある一定頻度で誘導され、それぞれの葉の生理状態によって抵抗性反応の頻度は変動することが考えられた。

### 総合考察

双子葉植物であるキュウリにウリ類炭疽病菌を接種した系において、二酸化チタンと光照射を処理した際に高い防除効果が得られた。この防除効果がどのような要因によるものであるのか調査したところ、（1）植物側の抵抗性誘導を引き起こすものではない、（2）病原菌の生存性あるいは付着器形成に至る形態形成には影響を及ぼすものではない、ことが示され、当初想定されていたいずれの要因でもないことが考えられた。また、二酸化チタンと光照射の処理のタイミングについては、二酸化チタンは前処理と同時処理のいずれの段階で処理しても効果が発揮されるが、光照射は病原菌接種と同時に処理されていなければ防除効果が発揮されないことが明らかとなった。すなわち、病原菌が感染を試みる際に、二酸化チタンが存在し、光が照射されていることが必要条件である。

一方、いもち病菌ではこのような防除効果は認められなかった。両者の違いは、二酸化チタンが病原菌に吸着する部位（いもち病菌：発芽管+付着器、ウリ類炭疽病菌：

孢子+発芽管+付着器)が異なる点である。ウリ類炭疽病菌では、二酸化チタンが孢子にも多量に吸着することより、孢子が植物体に接地した早期より影響を受け、発芽以降の発達段階のタイミングに異常が生じている可能性が考えられる。このような変化は、外見上では判断付かない場合もあり、侵入菌糸形成のためのPegの形成不全あるいは侵入するための動力となるグリセロールなどの代謝物質バランスの異常が影響していることが考えられる。

今後は、病原菌の侵入過程に着目し、強光照射条件でのPeg形成あるいは代謝物質バランスなどの詳細な解析を行う必要がある。

いもち病菌胞子懸濁液

いもち病菌胞子懸濁液  
+ 二酸化チタン

いもち病菌胞子懸濁液  
+ 二酸化チタン

付着器形成  
を促進？

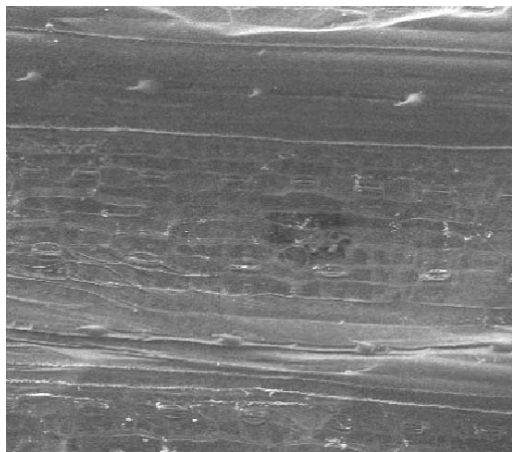
蛍光灯照射下

暗黒下

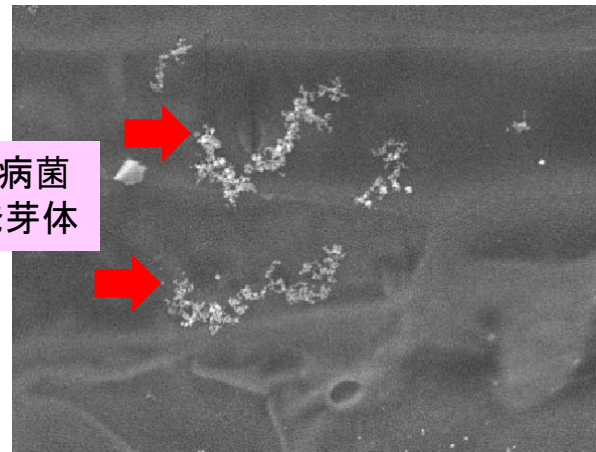
二酸化チタンと思われる物質が発芽菌糸・付着器に集積

図1、二酸化チタンのいもち病菌胞子発芽に及ぼす影響

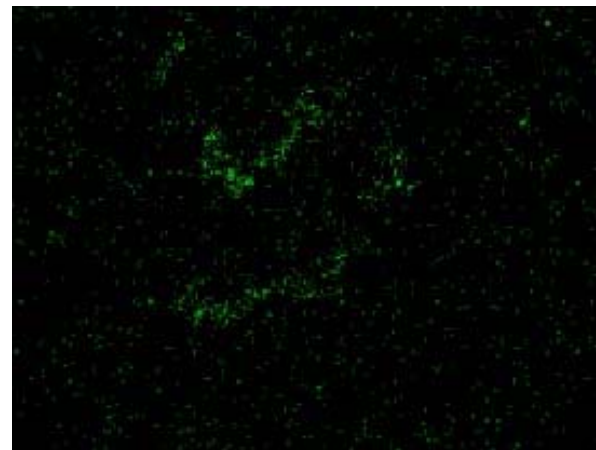
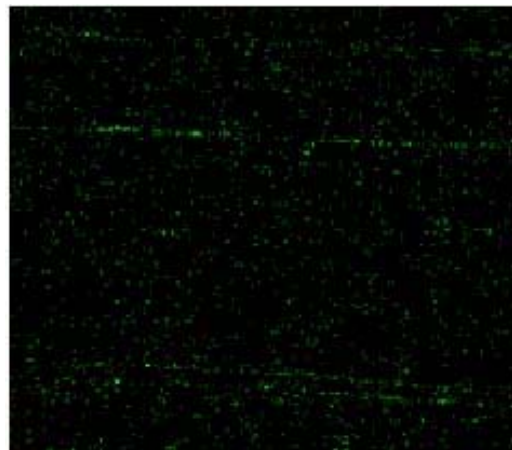
SEM像



いもち病菌  
胞子発芽体



チタン元素  
マッピング



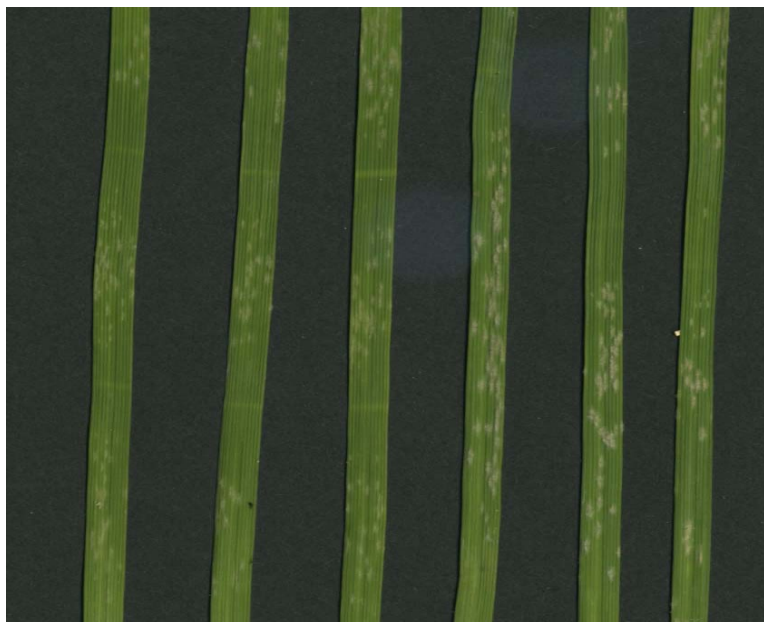
チタンはコムギ葉全面に分布しているが、  
いもち病菌胞子発芽体周辺部へは集積する傾向が認められた。

図2、いもち病菌接種葉におけるチタン元素のマッピング



## うどんこ病

(接種1週間後)



うどんこ病菌胞子  
+展着剤 (Tween 20)

うどんこ病菌胞子  
+展着剤 (Tween 20)  
+酸化チタン

## いもち病

(接種4日後)



いもち病菌胞子  
+展着剤 (Tween 20)

いもち病菌胞子  
+展着剤 (Tween 20)  
+酸化チタン

図3、コムギ葉への接種結果



(接種4日後)

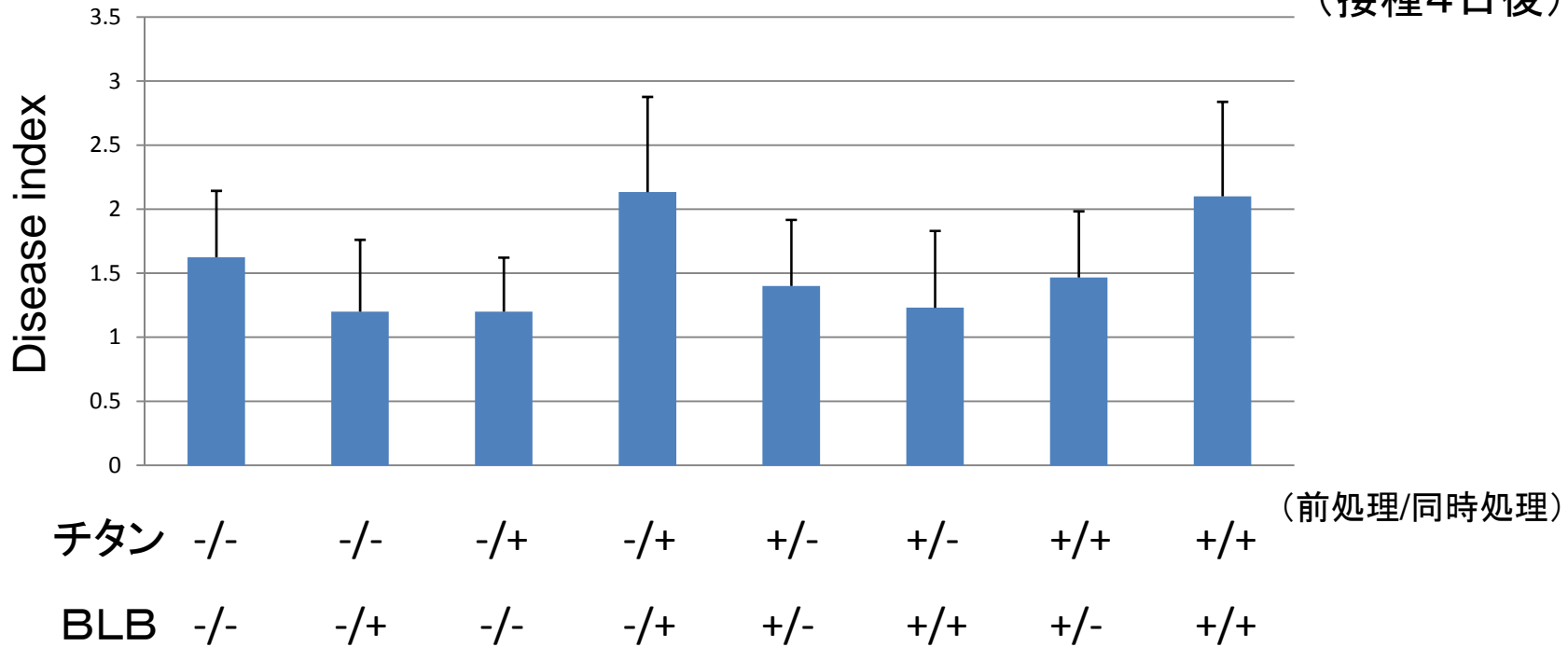


図4、蛍光灯強光照射条件におけるいもち病菌の防除効果



チタン $-/-$ , BLB  $-/-$



チタン $+/+$ , BLB  $+/+$



チタン $-/+$ , BLB  $-/+$



チタン $-/-$ , BLB  $-/+$



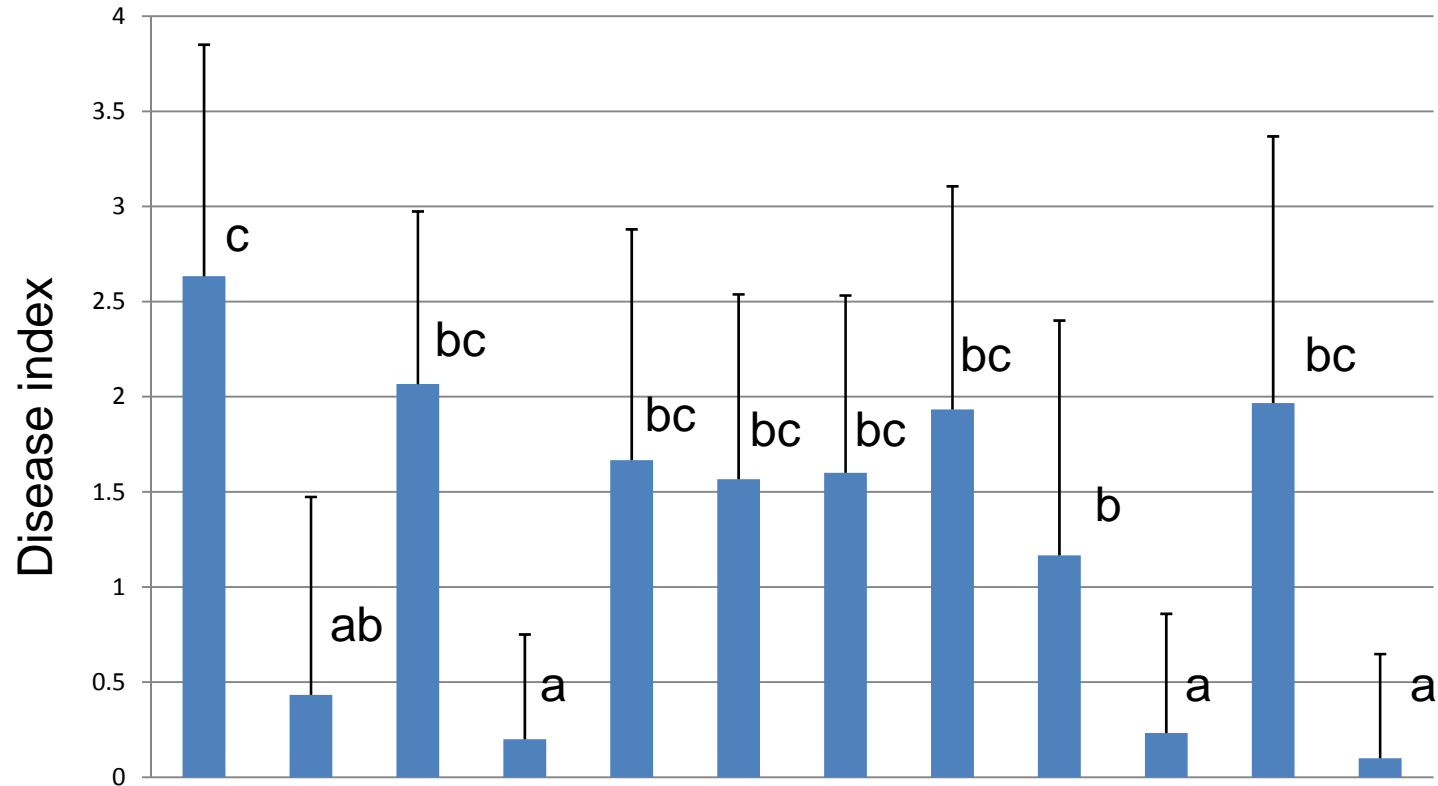
チタン $-/+$ , BLB  $-/-$



チタン $+/-$ , BLB  $+/-$   
(接種4日後)

図5、BLBランプ照射条件におけるウリ類炭疽病菌の防除効果

(接種4日後)



(前処理/同時処理)

チタン -/- -/- -/+ -/+ +/- -/- -/+ +/- +/+ +/- +/+ +/+

BLB -/- -/+ -/- -/+ -/- +/- +/- +/- -/- +/+ +/- +/+

図6、BLBランプ照射条件におけるウリ類炭疽病菌の防除効果





チタン-/-, 蛍光灯 -/-



チタン+/, 蛍光灯 +/+



チタン-/+ , 蛍光灯 -/+



チタン-/-, 蛍光灯 -/+



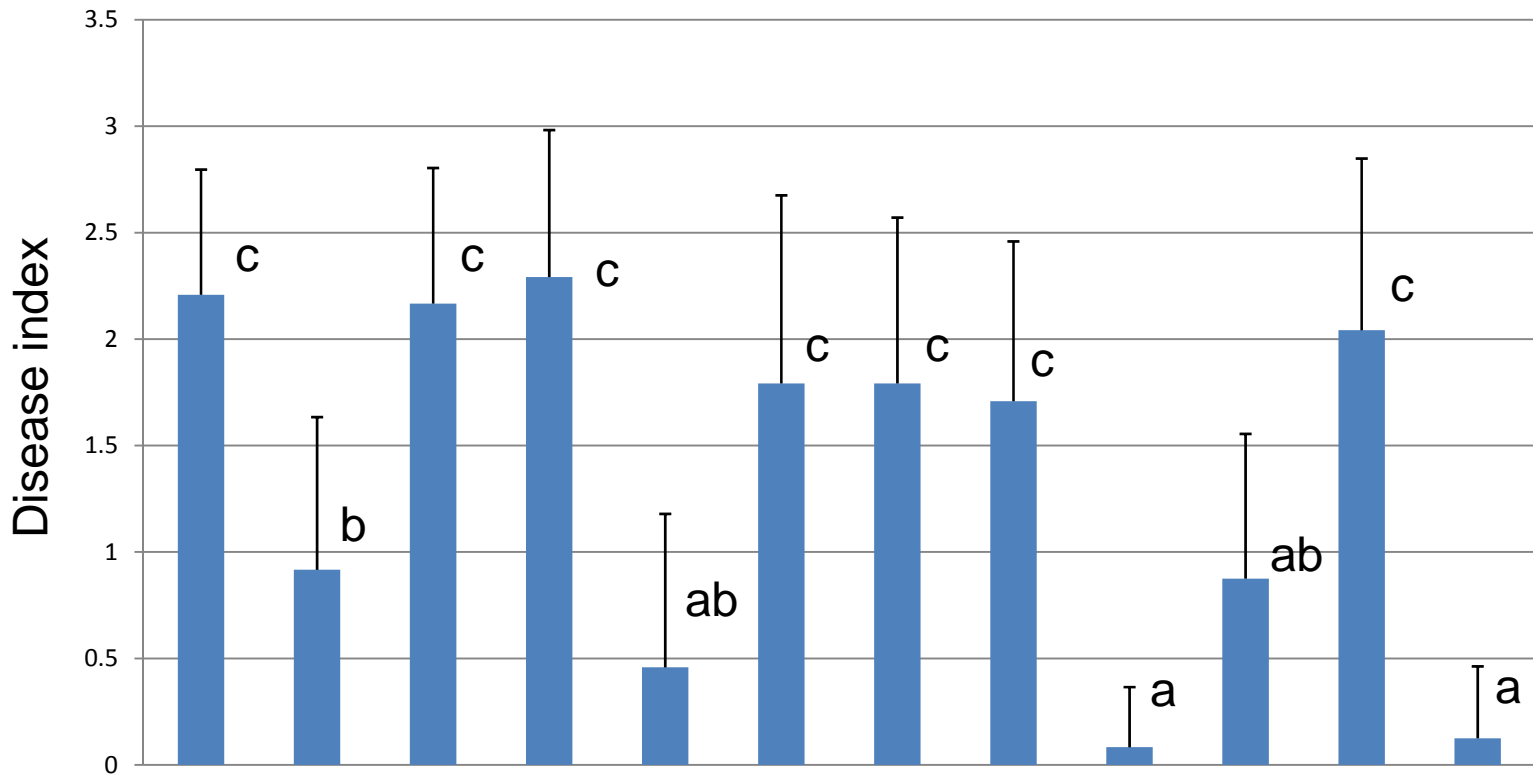
チタン-/+ , 蛍光灯 -/-



チタン+/-, 蛍光灯 +/-

図7、蛍光灯強光照射条件におけるウリ類炭疽病菌の防除効果

(接種3日後)



(前処理/同時処理)

チタン	-/-	-/-	-/+	-/-	-/+	-/+	+/-	+/+	+/-	+/-	+/+	+/+
蛍光灯	-/-	-/+	-/-	+/-	-/+	+/-	+/-	-/-	+/+	-/-	+/-	+/+
付着器	50			72			57	51		45	60	42
パピラ	23 (46%)			21 (29.2)			22 (38.6)	35 (68.6)		27 (60)	27 (45)	28 (66.7)
過敏感反応	7 (14%)			4 (5.6)			2 (3.5)	15 (29.4)		5 (11.1)	2 (3.3)	5 (11.9)

図8、蛍光灯強光照射条件におけるウリ類炭疽病菌の防除効果

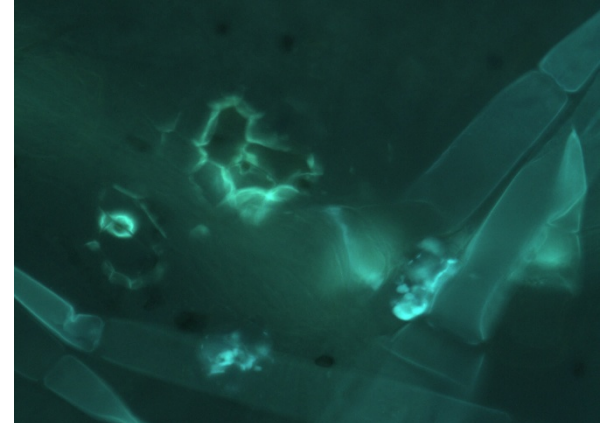
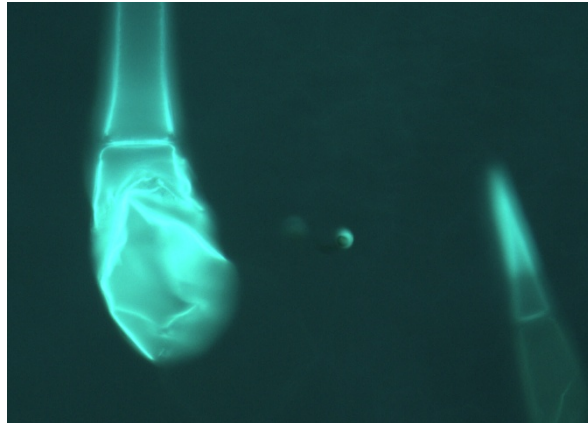
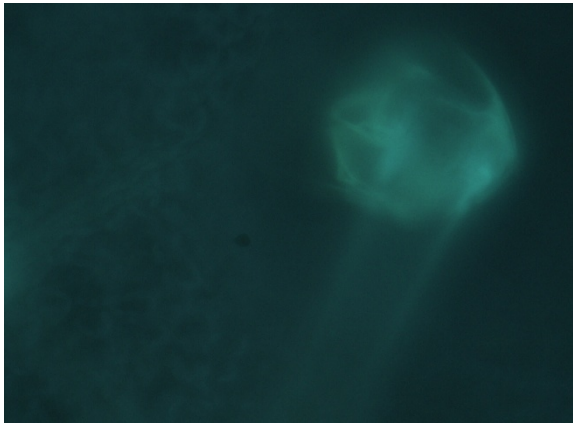
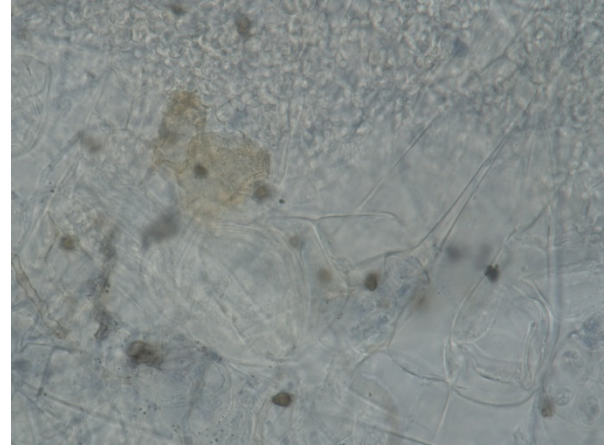
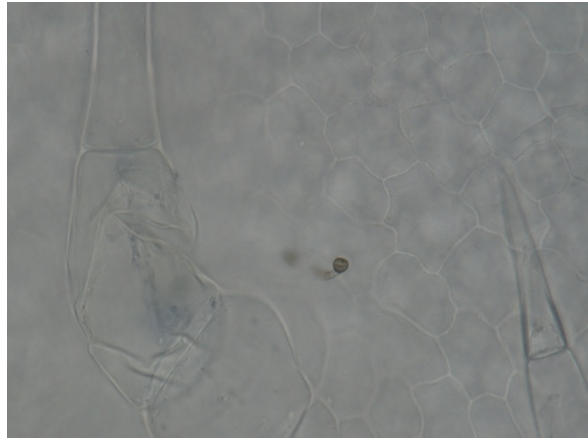
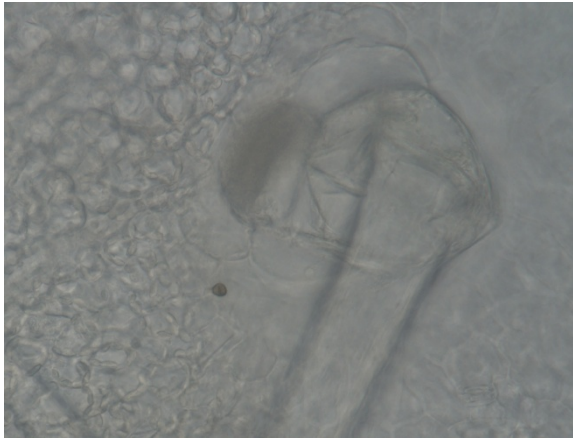
(接種3日後)



➡ 二酸化チタンの集積が認められる(特に孢子周辺に集中)

図9、二酸化チタン処理におけるウリ類炭疽病菌の形態形成





無反応型

パピラ型

パピラ+HR型

図10、ウリ類炭疽病菌接種におけるキュウリの細胞反応



# 二酸化チタンの光触媒活性による メチレンブルー水溶液分解試験報告書

試験場所 佐賀県神埼郡吉野ヶ里町大曲 2 5 5 - 1 1 猿田志岐農産(有)敷地内  
試験日時 平成 21 年 6 月 ~ 8 月  
目的 作物の病害、虫害に対する高い防除効果を有する二酸化チタン剤の開発を目的に、二酸化チタン剤の光触媒活性を測定し処理方法の異なる剤間での比較を行った

## 1) 経緯

本試験は、圃場に於いて高い防除効果を有する剤の開発を目的に、二酸化チタン剤の光触媒活性及び有機物の吸着性を検証したものである。

吸着量測定試験を行った目的は、今回の試験研究開始後に、神戸大学農学部の土佐幸雄教授より「チタンはコムギ葉全面に分布しているが、いもち病菌孢子発芽体・付着器等に特異的に吸着している事が顕微鏡観察により確認された。」との報告と、佐賀大学工学部の中島謙一教授に、「吸着量が増すことで、有機物をより多く吸着し、光触媒活性が高まっている可能性がある」とお聞きしたことから試験にて確認を行った。

当初は、シアノバクテリアを利用した光触媒材料の、抗菌性能評価方法という試験を行う予定であった。試験内容は、一般環境中における光触媒材料の抗菌性能を評価するというもので、シアノバクテリアを病菌に見立て、圃場の環境に近い条件で試験が可能ではないかと推測されたが、現段階ではシアノバクテリアの入手が困難で試験することは適わなかった。そのため、比較的に入手が容易であるメチレンブルー試薬を使用して、試験を行ったものである。

## 2) 試験方法

### ・吸着量測定試験法および、光照射試験法

- ① 調製したメチレンブルー0.01mmol/L (以降 **mM** と表記) 水溶液 500ml の入ったビーカーをスターラーに載せ、攪拌子を入れ 10 分間攪拌し、ピペットで 5 ml 程度サンプリングする (評価の基準溶液)。得たサンプル液は遠沈管に入れて光を遮断し保管 (以下同じ)。
- ② 暗所下で二酸化チタン剤を加える (粉末タイプなら 200mg・懸濁液なら組成分の割合による)。作業中は、懐中電灯を用い、かつ直接光が当たらないように行う。十分懸濁したら、ピペットで 5 ml 程度サンプリングする。
- ③ 吸着試験は、そのまま暗所下で時間経過とともにサンプリングする。光照射試験は、紫外線ランプにて 20cm ほどの高さから光照射することにより、**330 $\mu$ W/cm<sup>2</sup>**ほどの紫外線量を得る。光照射開始後、時間経過とともにサンプリング行う。

- ④ 試験にて得られたサンプルは佐賀県工業技術センターにて吸光度を分析する。
- ⑤ サンプルを遠心分離機にかける。4000rpm 20 分間遠心分離し、懸濁した二酸化チタンを分離させる。
- ⑥ 分離後、遠沈管内の上澄み液をパスツールピペットで吸光用セルに移し、紫外可視分光光度計UV-3600（島津製作所）にて吸光度を測定する。
- ⑦ 測定データより、メチレンブルーの波長 664 nm の吸光度を抜き出し、大気圧放電処理前後の二酸化チタン剤にて比較を行った。
- ⑧ 農作物の栽培条件では、天候に左右されることが非常に多い、その中でも雨天時のビニールハウス内が太陽光・紫外線量も低く、湿度は高く病気の発生し易い環境と言われている。  
光触媒機能を利用した資材では、このような環境下での効果の確認が必要であると考えられる事から、圃場ビニールハウス内でも光照射試験を実施した。

### 3) 試験結果

吸着量測定試験では、二酸化チタンの大気圧放電処理の有無にて処理前、処理後とし、剤間にて比較を行った。メチレンブルー色素の波長 664 nm の吸光度の測定結果をみると、処理前、処理後共に二酸化チタン投入時点で瞬間的に吸着するが、処理前に対して処理後においては吸着量が増している事が分かった。（図 1）。

光照射試験においても、処理前と処理後にて二酸化チタンを投入した時点で基準溶液から処理後では大幅に減少していることが分かる。その後の光照射を行ってからの吸光度測定値も大幅に減少していくことが分かる。同じように他の二酸化チタン剤にても試験し比較を行った（図 3(2)）。処理前に比較して、色素の脱色効果が高まっていた。

なお、上記の本試験結果では触れていないが、当社剤と、他社剤の混合による光触媒活性の検証は、他社剤がゾルタイプ（光触媒用）のため遠心分離によるチタンの分離が出来ず測定が不可能であった。

### 4) 考察

本試験は、二酸化チタンの光触媒活性を検証する光照射試験および、吸着量を検証する試験である。試験におけるメチレンブルーの吸光度測定は、佐賀県工業技術センターにて、紫外可視分光光度計を使用し行った。

予備試験の目的は、メチレンブルーの極大吸収波長のピークの確認および、メチレンブルーの各濃度別の吸光度を測定することにより、濃度調製が正確か、また、濃度別に測定することで、酸化チタンの光触媒活性による色素の脱色が、吸光度から確認可能なのか検証を行った。測定後、吸光度スペクトログラフから、波長のピークが 664 nm と確認できた。その後、メチレンブルー水溶液濃度別に波長 664 nm の吸光度を測定することで、濃度調整に誤りが無いことの確認および、それぞれの値の減少幅を確認することで、酸化チタンの光触媒活性による、メチレンブルー色素の脱色を、吸光度を測定することで確認できることが分かった。

本試験に入る前に、空気に触れることによるメチレンブルー色素の脱色の有無等の検証は、暗所下にて 3 時間、一定時間を置きサンプルを採取し吸光度測定を行う。測定結果を見ると、値に少々のはらつきはあるが、時間経過によるメチレンブルー自身の色素の脱色は見受けられなかった。

その後の試験は、吸着量を測定したものである。

一般的には二酸化チタンそのものの有機物に対する吸着能力は低いとされており、吸着量測定の検証に用いた二酸化チタン剤は、当社の大気圧放電処理の有無にてサンプルを用意し比較を行った。測定結果より処理後のサンプルで吸着量の増していることが分かった。

このことにより、処理後の二酸化チタン剤では、有機物をより多く吸着することで、光触媒活性が高まっている可能性があると思われる。このことは、薬理効果の向上にも繋がっているのではないかと思われる。

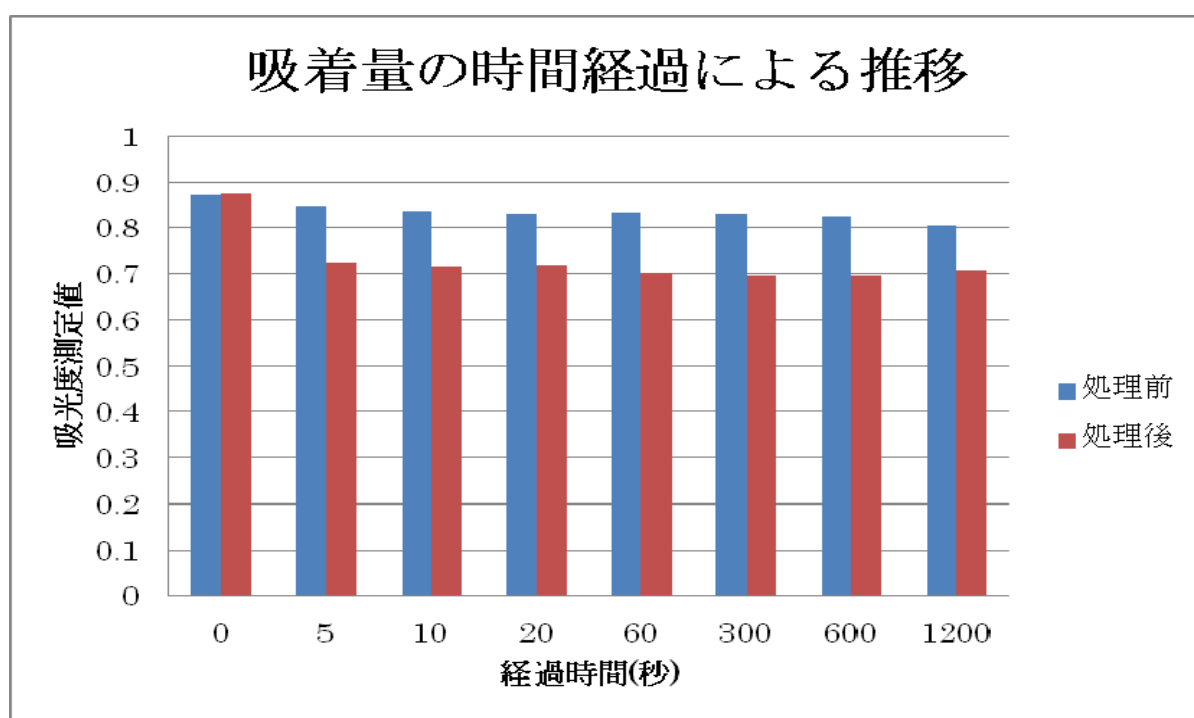
光照射試験では、暗所下でブラックライトを使用し紫外線照射量はおおよそ  $300 \mu \text{w}/\text{cm}^2$  に設定しての試験区では、大気圧放電処理酸化チタン剤と、他社酸化チタン剤との比較を行ったが、上記試験結果で述べた通り、他社剤のゾルタイプとは比較が出来なかったが、大気圧放電処理前後では比較が可能で、また、粉末タイプ他剤に比べ処理後は、光触媒活性が高まっていると考えられる。

圃場ビニールハウス内試験でも、当初紫外線量の低さから試験結果に不安があったが、結果を見てみると大気圧放電処理前は分解速度にさほど差が無いが、大気圧放電処理後では分解速度が紫外線量の変化に比例してではいる事が確認できた。

今回の試験結果から、大気圧放電処理二酸化チタンには有機物の吸着量の増加及び有機物（色素）の分解速度の増加と紫外線量の変化に比例して分解速度が増す事が確認された。

この事が、農作物の病気への防除効果につながっているのではないかと思われる

図1 大気圧放電処理前後の吸着量の比較



試験日

処理前 平成 21 年 8 月 19 日 処理後 平成 21 年 7 月 14 日

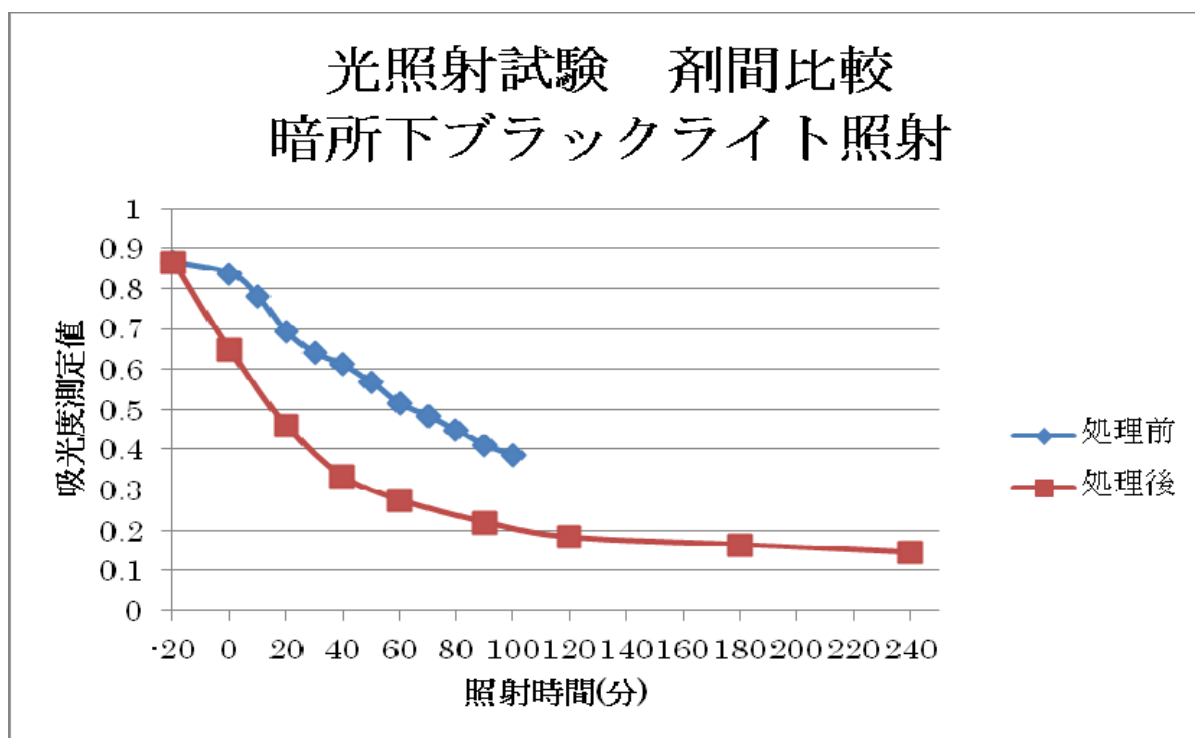
吸光度測定日

処理前 平成 21 年 8 月 19 日 処理後 平成 21 年 7 月 14 日

備考

暗所下にて試験実施 メチレンブルー0.01mM 水溶液 500ml に 二酸化チタン 200m g (粉末)を投入

図2 大気圧放電処理前後の光照射試験 剤間比較



試験日

処理前 平成 21 年 6 月 10 日 処理後 平成 21 年 6 月 3 日

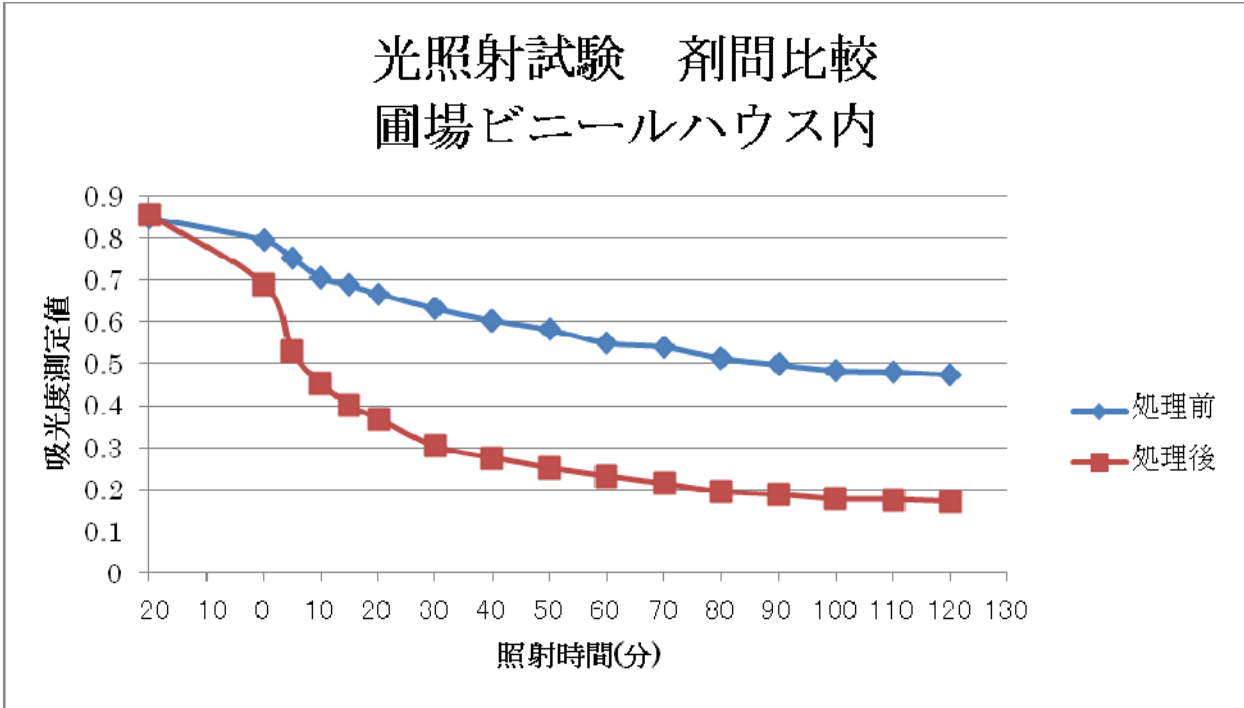
吸光度測定日

処理前 平成 21 年 6 月 10 日 処理後 平成 21 年 6 月 4 日

備考

ブラックライト 20w×2 下 30cm にビーカーの液面を設置し試験を開始  
紫外線照射量は、およそ 330  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  に設定

図3 大気圧放電処理前後の光照射試験 剤間比較



試験日

処理前 平成 21 年 7 月 7 日 処理後 平成 21 年 7 月 7 日

吸光度測定日

処理前 平成 21 年 7 月 9 日 処理後 平成 21 年 7 月 9 日

備考

経過時間で - 20 分時に二酸化チタンを 200 mg 投入し 20 分間暗所下にて攪拌  
 その後、0 分からビニールハウス内に場所を移し PM4 : 00 光照射を開始する  
 LUX 値 PM4 : 00 時点で 12000 LUX ~ PM6 : 00 時点で 3000 LUX  
 UV 値 PM4 : 00 時点で 450  $\mu w/cm^2$  ~ PM6 : 00 時点で 114  $\mu w/cm^2$