

アオコと超音波による次世代型水環境改善法

アオコの光合成能力をエアレーションに応用
超音波加圧で細胞内浮力体破碎
超音波振動で寒天状のバリアー(シース)破碎



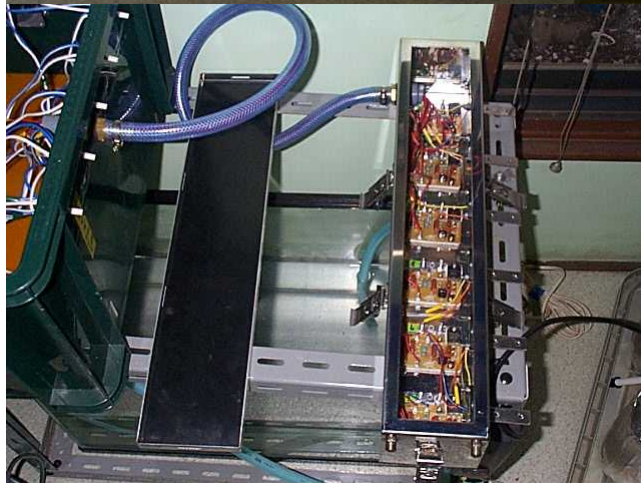
アオコと超音波のコラボレーション

超音波のキャビテーション起因の高温、高圧でダイオキシン類
環境ホルモンを分解効果も期待できる。



副作用のないキャビテーション分解効果応用

アオコ・バスター実証用試作器：導波管と水流発生型超音波発信（特許申請中）

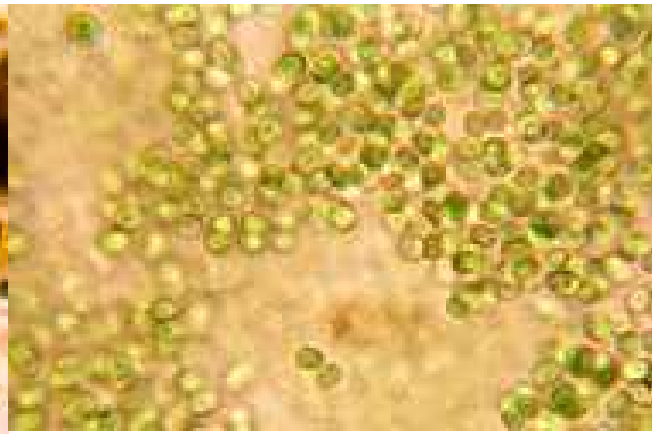
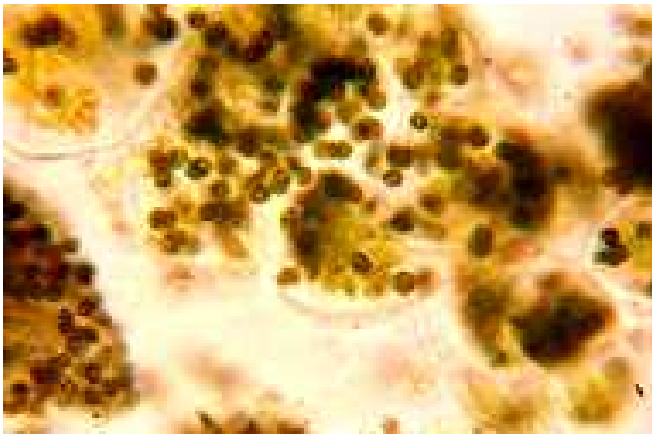


左上：アオコ・バスター全体図
左下：同共振子収納兼防水放熱ボックス
右上：同コントロールボックス

アオコへの超音波作用: シース(寒天状保護膜)と細胞内浮力体の破壊



左上: アオコ発生状態の池 右上: 超音波を作用させたアオコと光透過性



左上: シースに守られた健全なアオコ

右上: 超音波の振動加速度によりシースと細胞内ガス胞を潰されたアオコ、ガス胞が無くなった分クロロフィルが分散し、薄いグリーンに見える。

超音波照射試験：1998年9月～1999年2月

試験概要：手賀沼より採取してきたアオコ (*Microcystis aeruginosa*) に1%に対し1.65 MHz超音波を1分間照射した。照射直後と約5ヶ月後のアオコの観察を実施した。

超音波照射を受けたアオコは浮力を潰され約2時間後には完全に沈降し、その結果、写真右の様にバックライトを通した。

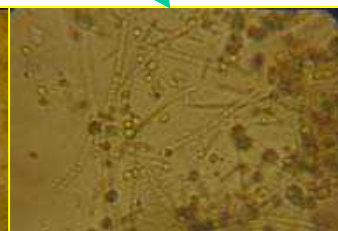
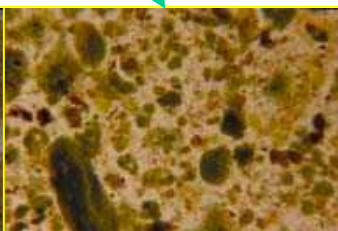
未照射の左は5ヶ月後経っても浮力を失わず表層を占拠していた。一方、照射したものはアオコは底部に沈殿した状態が続いた。

超音波照射直後から5ヶ月後



未照射

照射



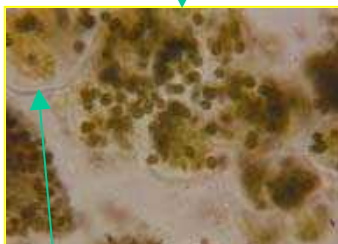
アオコの大きなコロニー(群集)がはっきり確認できる。

コロニーは全体的に小さく砕かれた状態になった。

輪郭は薄くなったがアオコはほぼ現状に近い状態を保ち、浮力を維持していた。

アオコ細胞は浮力を回復することはなかった。コロニーの中にはPhormidium mucicolaが発生していた。

150倍



シース(細胞を保護する透明の鞘)が見える。

細胞内のガス胞が潰れクロロフィルが細胞内全体に分散し全体的に薄緑に見える。シースは確認できない。

600倍

結果と考察：

浮力を失ったアオコは相当の期間再浮上出来ない。細胞内でのガス胞再生は不可能と考えられる。

アオコを保護しているシースが壊れ、捕食されやすい状態となった。ワムシ等の直接攻撃を受けやすくなると同時にウイルス、細菌に対しても不利になると考えられる。

毒性も指摘され、繁殖力の高いマイクロキスティスに変わる藻類が優勢となる。環境条件を変えることが表層占拠型アオコ対策の重要なポイントであると考えられる。

アオコ(藻類)と微弱超音波による水環境改善提案

提案概要: 装置は直進水流発生型・微弱超音波とその水流で表層水を深層に導く導波管の2つにより構成される。

本装置は表層を覆うアオコを自らが作り出した溶存酸素(水に溶けた状態の酸素)共々底層に送り込む。

アオコは導波管通過中に超音波照射を浴びる。

水中超音波は水の中では秒速約1.4kmの早さで伝搬するが、そのエネルギーは水とのインピーダンスの最も大きいアオコ細胞中の浮き袋(ガス胞)で消費され、結果としてガス胞のみを破壊(強力超音波は不要)する。

また、この際の揺さぶりによりアオコ・コロニーを取り囲みワムシ等の攻撃から自らを守ってきた寒天状物質(シース)も同時に破壊される。

浮上能力を失ったアオコは2度と浮かび上がることはなく、底泥部で他のバクテリアの捕食対象となる。

一方、導波管からはアオコ由来の酸素を大量に含んだ表層水がゆっくりしたスピードで酸欠状態の下方部に供給される。

重要なのはアオコ(藍藻)は光合成能力が非常に高く、日中ここで作られる酸素は溶存態過飽和である点である。

水質浄化で一般的に行われているエアレーションはその約8割が窒素で、更にその大半は泡となって大気中に再放出してしまい見た目ほどの効果は期待できない。

アオコという覆いの取られ湖沼の生産層(光が入光する深さ)は大幅に拡大し、全体のCODは改善され沈水性植物が復活する。

超音波照射により浮遊制のアオコが発生しなくなった場合、表層付近を漂うガス胞を持たない緑藻、褐藻類がその役を担う。

ガス胞を持ち表層を占拠するマイクロキスティスの様なアオコは減少し、水環境全体が改善に向かう。

キー・ポイント:

1. 直進水流発生型超音波振動子と導波管を用いて表層を覆うアオコを底層部に送り込む。 → [遮光原因の排除](#)
2. アオコの光合成能力を底層部のエアレーション手段に利用する。 → [光合成の利用](#)
3. アオコ集積にポンプでなく風力を利用する。 → [自然エネルギー活用](#)
4. 全水量を対象とせず、アオコが集まる表層水を使い底層を改善する。 → [浄化ターゲットを決める](#)
5. 沈水性植物、魚介類復活水域を作り、徐々に拡大する。 → [生態系回復エリア形成](#)

超音波装置による実証試験概要

実験場所 = 千葉県我孫子市我孫子新田 22 - 7 - 21 (有)手賀沼の小池 電話: 0471 - 82 - 1015

実験期間 = 平成12年5月27日 ~ 10月7日

池の用途 = 釣り堀(現在は商業用としては使用していない。) / 大きさ = 14m x 14m x 0.5m / 水量 = 約98トン

実験経緯 = 右池は釣り堀として商売をしており、毎分約11リットル、15.8トン/dayの地下水を補給をおこなっている。これに対し、左池は釣り堀としては利用していない為、地下水の供給は行わず例年大量のアオコが繁殖し生態系も非常に貧弱であった。SERでは企業との共同研究として1999年よりこの2つの池を利用したアオコ処理実験を開始した。99年度は装置の設計そのものに不備があり失敗した。2000年度はこの不備を補うべく改良し4ヶ月間の超音波連続照射を行った。

処理能力と消費電力 = 86.4トン/day、消費電力185W(内訳:振動子5個 = 175W、冷却用ファン = 10W)



2000年7月末:超音波振動子5個を付けたアオコリスター実験機を行った。実験開始直後導波管へのアオコ取水口の形状変更を行った。振動子への藻類の付着は振動子両端の僅かな部分で確認されたが直進水流発生に影響を及ぼすほどでは無かった。

6月中旬頃よりベギアトアのような腐泥上付着藻類が水面に浮かぶようになった。その後これらの回りに小魚の群が確認され7月中旬には写真の様な茶褐色の水となった。この際、導波管からの吸い込みを確認すると表層に若干残っているマイクロキスティスのコロニーが次々に間の中に吸い込まれている状況が目視出来た。

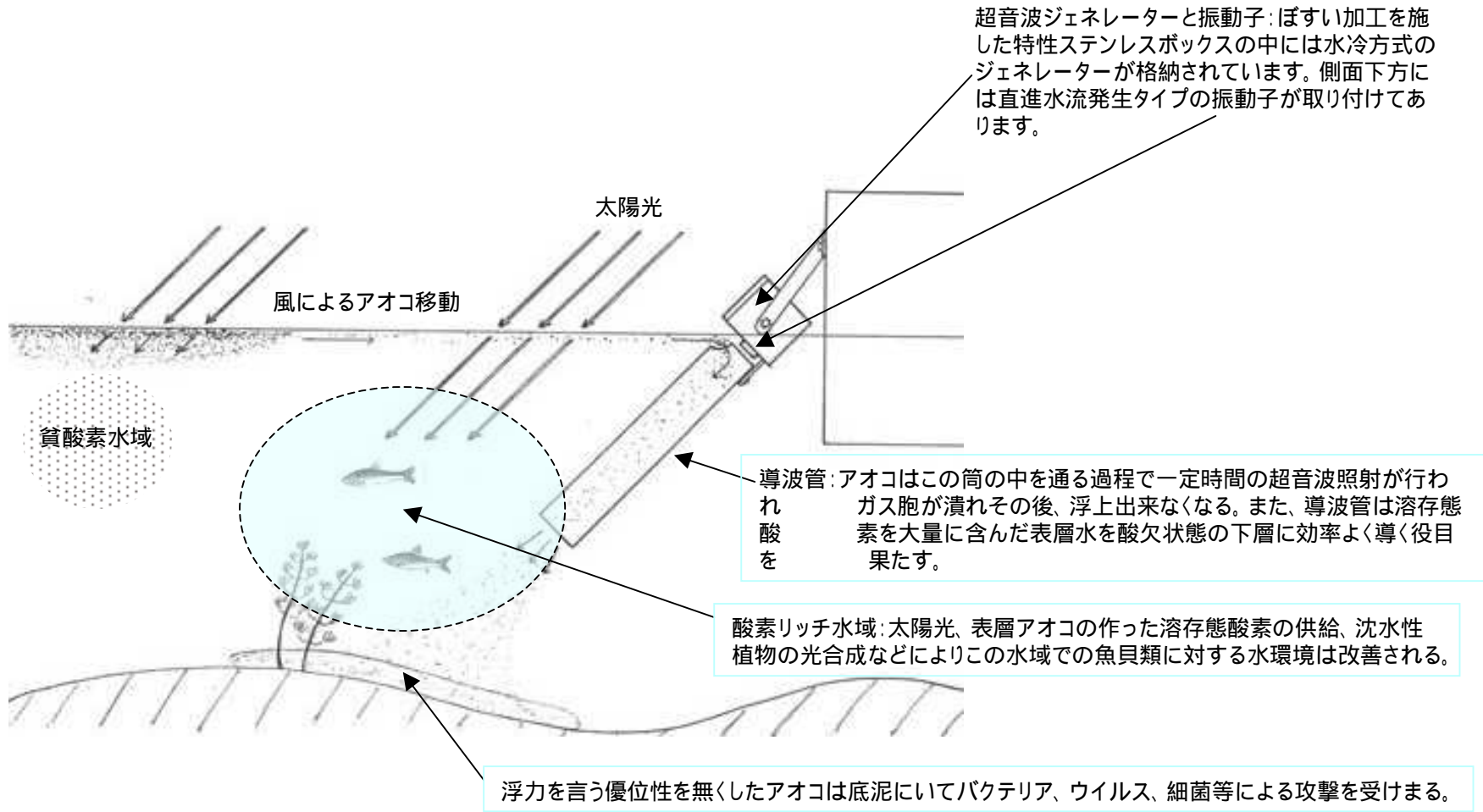
左池にはこの年、実験終了の10月まで一度もアオコは発生しなかった。

その他、主な変化としては今まで咲かなかった沈水性植物が復活し、秋口からカエルが異常発生した。また、翌年春には従来見ることの出来なかったヘラブナの稚魚が左池を周遊しているのを店主が確認した。

右の池は現在も釣り堀として使用しているため毎分約11リットルほどの地下水を汲み入れているがこの時2日ほどポンプが故障し地下水の流入が無く直後アオコが発生した。

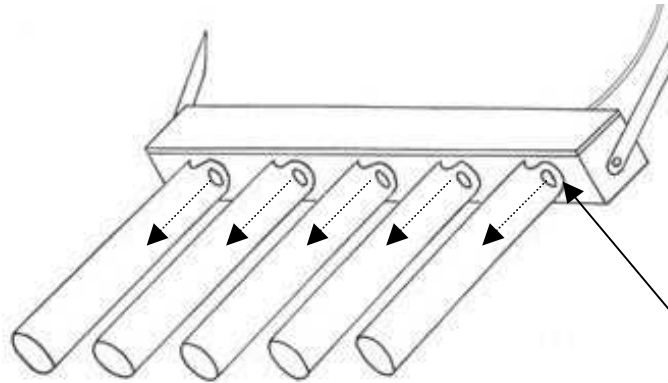
2001年8月:実験を中止した。左池には例年のように大量のアオコが発生し独特の臭気を放ち例年と同様の状況に戻った。

浄化の形態イラスト



装置概要イラストとキーポイント説明

1. 超音波照射のミクロ的効率化とジェネレーターの改善: 表層アオコを如何に効率的に導波管に導くか、高温になるジェネレータを如何に冷却するか。
2. 超音波照射のマクロ的効率化: 広い湖沼の上で以下に効率よく集めアオコ対策を進めるか。
3. その他: ゴミとアオコの分離 / 太陽光発電の応用

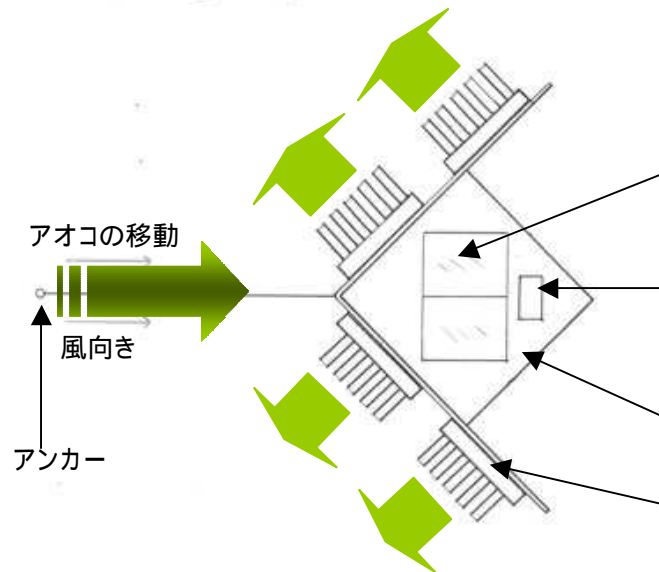


超音波装置の基本ユニット: ジェネレーターが格納されたステンレス製水密ボックス、振動子の水流は導波管を経由して表層から底層に向けて照射されます。

通常のエアレーションでは空気を送り込むのでその約8割は窒素です。しかもガス状であるため大半が泡となって再放出する。日中アオコの作る酸素は過飽和状の溶存態酸素で水域の好気化に直接作用する。

超音波利用の問題点であったジェネレーターの冷却問題もユニットそのものを放熱材として使う事で解決。

振動子タイプ: PZT、周波数: 1.65 MHz、消費電力: 約35W、耐久時間: 5,000時間、振動加速度: 約29万G、水流: 10cm/sec



ソーラーパネル: 基本ユニットの個数により発電量を決めます。

コントロールボックス: バッテリー、インバーター、コントローラー、トランス等の電気系機器を収納する。日中だけ超音波照射を行う場合はELスイッチ(CdS応用タイプ)を取り付ける。

浮体(イカダ): イカダは絶えず風上を向く設計とし、植栽機能を持たせる事も可能。

アオコ・バスター基本ユニット

一般的疑問点と回答

疑問点1:沈殿したアオコはどうするのか？

回答:アオコ重量は最大に繁殖した状態でも水量1トンあたり約8g程度つまり8ppmです。

ポンプとフィルターを使って回収するより底泥でワムシ等のバクテリアに捕食させる方がエネルギー収支から考えても賢明ではないでしょうか？

水槽実験では超音波照射により浮力を失ったアオコはその後底部に留まり、やがて別の藻類(ホルミジウム等)が優先になっていった。

疑問点2:一体どれだけの超音波装置を入れれば手賀沼は綺麗になるのか？その際の消費電力は？

回答:手賀沼の全水量は約560万トンです。この全てを取り上げて浄化するのは大変な事です。

しかし、沼の好気化を妨げ、底生生物を住めなくしてしまった大きな原因の一つがアオコによる表層部の占拠です。

アオコは表層で光合成を行い細胞内に低分子化合物を蓄えます。その際の浸透圧増による膨圧でガス法がつぶれ沈降し、夜間深層で細胞構造や貯蔵物などの高分子に消費されると、浸透圧が減少し、ガス胞が膨らみ再浮上すると言われています。

アオコ・バスターは基本的に日中表層にあるアオコを捕まえます。そしてその際、処理する水量は表層部の僅か1cmほどで良いのです。

こう考えると手賀沼での処理量も6.5万トンと1/86まで縮小されます。

アオコ・バスター1ユニットの処理水量が86.4トン/dayですからイラストのような4ユニット付けたイカダを20基アオコの集積し安いところに設置し、日中だけ稼働させるとすると理論的には約19日間で表層水全てを処理する事が出来ます。

イカダの設置は周辺全てでなく夏場は南よりの風が吹くわけですからその対岸を中心に設置する方が効率的です。

21世紀の環境浄化を考える上で消費エネルギー収支は非常に重要です。

太陽電池を使えば電力コストはゼロですみませんが仮にそうでない場合、イカダ1基当たり680W/hrの電力必要で1日12時間稼働では8.16kWとなり、最低必要処理水量に掛かる電力合計は3,100.8kWとなります。

電気代を20円/kWで計算すると年間62,000円のランニングコストが掛かります。

従来の浄化法と比べて安いか高いかは別として浄化にアオコの光合成能力を借りる事は大きな省エネ効果になるのではと思われます。

疑問点3:超音波装置の耐久性とメンテナンスは？

回答:超音波振動子の耐久性によります。現在使用しているPZTタイプの振動子の耐久時間は約5千時間です。従って、春から秋にかけて

半年間(180日間)12時間使用すると2.3年間使えることになります。

メンテナンスは構造が単純なので殆ど掛かりませんが使用しないときは振動子面に藻類が付着するので再使用する際はこの部分の洗浄が必要になります。

また、夏場の使用ではインバーターやバッテリーの入ったコントロールボックスの熱対策が必要となり、この部分の注意が必要です。

更に使用する現場の状況を良く把握することが重要です。

疑問点4:超音波の魚類やその他生態系への悪影響は？

回答:超音波を近距離でモツゴ等に当てる水槽試験を行いましたでしたが死んでしまうようなことは起きません。

モツゴは透明の導波管の中に入り振動子から数センチの所までいっても気絶することすらありませんでした。

人間が指などを近く(5cm以内)におくと若干の痛みを感じますが驚いたことに柏の温泉で超音波風呂というのが登場しました。

ほぼ同型の振動子が数十個左右に並べられた空間に体を入れて入浴するというものでした。内蔵の血行を良くするとのことの様です。

生態系への影響ですが超音波はもともと水中伝わる音です。イルカや鯨だけでなく非常に多くの生物がこの超音波を用いています。従って、副作用は殆ど有りません。

疑問点5:アオコ・バスターの利用法として他に考えられるものは？

回答:超音波の持つ特性の内の一つである「キャビテーション」の効果が色々な分野で応用されています。
キャビテーションとは水中で超音波を発信した場合、縦波である超音波は加圧と負圧をごく短い時間内で繰り返します。
これを局部的に見るとある部分の水は押された直後に逆方向に引っ張られる訳です。
この際、水分子の結合(水素結合)が切れて、その部分に水分子の存在しない空洞(キャビティー)が出来ます。
そしてこのキャビティーは次ぎに来る加圧波に押され潰されます。
この時、水分子同士が激しくぶつかり合い局部的、瞬間的に1000 以上の高熱、音、光を生じます。
そして、この作用は現在、半導体の洗浄だけでなく一般の洗濯機などにも用いられ始めました。
最近になってこのキャビテーションがダイオキシン類、環境ホルモンを分解する有効な手段になる事が明らかになってきました。(添付資料参照)
湖沼に流れ込む様々な物質のうちで最も問題となりうる環境ホルモン(ダイオキシン類)が超音波で分解可能なので有れば本手法は2重の効果を持つことになります。
ダム湖の水質改善などにも利用すればマイクロキスティス由来の毒性物質(マイクロシスチン)や藻類由来のカビ臭(ジオスミン、2MIB)分解への期待も高まります。

環境NGO - SER

〒277-0011 千葉県柏市東上町4-17

電話:04-7166-4151 ファックス:04-7166-4128

代表 藤本治生