

パネルディスカッション「バイオマス利用の現状と課題、そして進む方向」

＜パネルディスカッションの主な内容＞

発 言 者 (敬称略)	主な内容
宮藤	4 題の講演があり、40 分程度ディスカッションしていきたいと思います。それに先立ち、アンケートの質問にパネリストの先生方にお答えをいただき、お話しを進めたいと思います。 まずは乾先生へのご指名です。イソブタノールのジェット燃料化へのリッターあたりの目標コストと、現時点での到達度を教えてほしいというものです。
乾	イソブタノールのアルコールトウージェット (ATJ) であろうが、藻類であろうが、ガス化 FT 法であろうが、NEDO のプロジェクトでの目標コストはリッター 120 円です。実際の原油由来のジェット燃料の価格はリッター 100 円以下です。現実的にイソブタノールはスケールアップの状態には至っていませんので、正直、目標コストにはまだ到達していません。スケールアップした際のコスト試算はしておりますが、まだ数倍はかかる状態です。これは、どれくらいの規模で生産するのかわかってくると思います。大量に作れば安くなっていきますが、小規模でつくれば当然コストがかさみます。設備の投資コストが圧倒的に高くなります。バイオジェット燃料を用いた商業飛行を日本で最初に到達することを、まずは 2020 年の東京五輪までに達成することを目指しています。
宮藤	もう一つ関連して、ブタノール、イソブタノールの件について、大量生産技術はいかがでしょうか。バイオプラントの状況や、2020 年までにジェット燃料は大丈夫ですかと、ストレートな質問が来ていますが、いかがですか？
乾	実際に商用飛行と言っても、海外で商用飛行しているという、例えばアラスカ航空は Gevo 社が作ったバイオジェット燃料で運行していますが、正直、現状で採算が合っているわけではないと思われます。まずは、商用飛行を目指して、バイオエタノール生産などに使われていて、現在、停止して空いている大型のバイオリアクターを用いて、生産することを目指しています。
宮藤	私への質問と思いますが、反応系がイオン液体単独でも、水蒸気蒸留時の水が入ったイオン液体プラス水蒸気の状況でも、生成物分布に変化はないのでしょうかという質問を頂きました。端的にお答えしますと、変化はないということになります。イオン液体単独でもヒドロキシメチルフルフラールという化合物ができ、水蒸気が入ってもできます。このことから、この組み合わせが有効であることを確かめています。
宮藤	先ほども、イオン液体が高価だとありましたが、工業利用ができる時期はいつごろでしょうかと質問を頂いております。堀さんはいかがでしょう。プレゼンテーションの中でも含まれていましたが。
堀	バイオマス利用の工業化ということになりますと、色々なハードルがあります。イオン液体だけを取りあげると、先ほどの構造のものは、当社の設備では 100 キロスケールの合成実績はあります。投資無しでもトンレベルまで生産の可能性はあります。但し化審法の化学物質登録しなければなりません。これに 1～2 年は要し、数千万円、3 千万円くらいの毒性データを計測する必要があるというハードルがありますので、全てのコスト負担と考えると、高価となる可能性はあります。 イオン液体をまず、リサイクルをしなければなりません。イオン液体の劣化など、様々な技術側面がありますし、工業利用までのハードルはあります。現在 NEDO の助成を受けて宮藤先生とも協業していますが、色々な解析をしながら、工業化利用を促進し、CO ₂ 削減という目標があるならば、2030 年の目標時期を待たず、投資ご協力があれば、やっていきたいところです。 当社がイオン液体を製造する観点から見れば、製造は可能です。
宮藤	私の方からも申しますと、イオン液体は、言葉が先行しています。イオン液体という言葉は、有機溶媒と同じようなくくり方です。有機溶媒であれば、エタノールもありますし、ブタノールもありますし、ベンゼン等々もあります。それぞれ価格も性質も違いま

	す。これを有機溶媒という言葉一つでは語れません。イオン液体も同じで、構造式が異なれば、性質も用途も値段も違うということで、高いものもあれば、安いものもあるところです。そのため、使い手が何に、どのように使うのかにより、コストが変わってきます。
宮藤	山田さんに、S I Pリグニンの話をしていただきましたが、時間が少なく、補足やアピールしたいことはありませんか。
山田	パネルディスカッションとしては、バイオマスを考える時に、何を原料にするのが重要です。今日は幸運にも乾先生の話長時間聞くことができましたが、乾先生は糖を原料にされています。糖の成分は、どのバイオマスにも含まれています。糖成分は加水分解でモノマーになってしまいます。そのように分解して利用できるということです。ところが「リグニン」は多様なもので、一言では言えないものです。乾先生もお考えとは思いますが、使うバイオマスの良し悪しがあるはずですし、針葉樹のバイオ反応は、なかなかキツイが、草本系ではうまくいくというところもあると思います。私はこうしたところを整理していきたいと活動しているところです。特徴を「リグニン」は出していると思います。そういう意味で、最初に「リグニン」に気をつけたリファイナリーを行って、改質リグニンを作った後でも、糖のブラクションはできます。大体こうした流れになってきているようです。最近、世界においても、「リグニンファースト」と言う人がいるらしいです。大統領や知事で「ファースト」の言葉が流行っていますが、糖の成分は、いろんなものすごい展開に利用できると思っています。 今日は、改質リグニンのことを一切お話ししなかったのですが、ご興味ある方は、動画をWe bにアップしましたので、是非ご覧ください。
宮藤	ありがとうございます。質問は以上になります。 そして、今後のバイオマス利用に向けて、普及、そして課題や方向性について、パネリストの皆さまとお話したいと思います。 話題提供ではないですが、スライドを1枚出させていただきます。 バイオマスからできるもの、6 Fと書いていますが、ピラミッドのようなものがありまして、無理矢理、英語の頭文字を書きだしています。まずエネルギーとして Fuel、肥料の Fertilizer、飼料の Feed、マテリアルは、本当は M から始まる場所ですが、無理矢理 Fiber、それから Food、一番上が Fine Chemical と書いています。 このピラミッドは、上の方は付加価値が高く、下は低い。需要の方は、上は少なく、下は多く、量は上が少なく、下は多いと書いています。 通常はバイオマスを使うとマテリアルが思いつきます。今日は非可食に焦点が当たっていますので、草や木材も食べられるようになると、異なる価値を生み出すと思いますが、今日の話題ではありません。木材を飼料に使えないかと何十年も研究開発している方もおられます。乾先生からご紹介いただきましたエネルギーは燃料の部分に該当します。相当量を使うので航空業界も注目され、何とかしようということです。ただ、そんなに高いものも使えないので、リーズナブルな値段で作らないとハードルがあります。私の指向しているところは、乾先生の化成品のところでも触れておりましたが、ある程度の価値があります。燃料ほどの需要が多くあるわけではないですが、ある程度の需要もあります。今までになかったところにバイオマス利用が切り込めれば良いと考えています。今までになかった多様な用途や方法を、多様な考え方で考えることが大事ではないかと思っています。 私としては、ファインケミカル分野に切り込めれば良いと考えています。 バイオマス利用の普及に向けた課題と方向性について、また他にもさまざまなことを思いながら、キーワードをお示ししました。今日は技術開発的なところを中心にお話を伺いたいと思います。ほかにも大切なことがありますので、原料の安定供給や農工連携、バイオマスはどちらかと言えば農の部分ですが、乾先生のお話しでも、AI 技術に触れておりましたが、そうした分野との連携も大事だと思います。バイオマス利用を何とか普及し使っていくという、技術開発とは少し異なる局面において、何が大切とお考えか、先生方のお考えをお聞かせください。乾先生お願いします。
乾	最初に見せていただいたピラミッドの図について、私たちが直面している課題についてお話しします。私の所属している地球環境産業技術研究機構は、CO₂を削減するために設立された研究所です。現在、世界的な動向として、パリ協定を達成するためにはバイ

	オ技術で物をつくりカーボンニュートラルを実現し、さらに出てきたCO₂を地中貯留してCO₂をより削減して達成していく方法が有効であると言われています。今日私は、燃料と化学品と両方を紹介しました。化学品は個々の生産量がバイオ燃料と比較して少ないため、CO₂の削減量も少なくなります。CO₂を削減しようと思えば、どうしても量を求めることになり、燃料でなければならない側面がある。バイオ燃料は、コストがものすごく安いので、どのように実用化を達成していくのかは、政策による開発のための公的資金の導入や普及のための制度の制定が必要であり、民間だけで達成しようとするとは非常に難しい。我々の立場としては、どうしてもCO₂削減効果の大きいバイオ燃料・エネルギーをやることは避けられません。従って、難易度が高いバイオ燃料については国家プロジェクトを獲得して開発に取り組んでいます。その中でジェット燃料は、国内事情や ICAO 総会での決定という追い風が吹いていますので、絶対に開発しなければなりません。さらに先を見据えてバイオ水素生産にも取り組んでいます。 我々の RITE バイオプロセスは従来の発酵法とは異なり非常にユニーク技術ですので、先ほどご紹介したように、化学品が高生産できることを積極的に発表し、ベンチャー企業を通して、事業化を図ることを進めています。実際に RITE 発のベンチャーでは、L-アラニン生産の事業化を達成し、ある程度の生産規模になればコスト面も対応できると言う技術照明をしています。事業化においては、原料となるバイオマス由来の糖の価格が非常に重要になります。日本の場合には、バイオマスが分散しており、集めてくるだけで非常にコストが高くなってしまいます。そこで我々は、現時点では原料として使われておらず産業廃棄物として費用をかけて処分されており、有用原料となりうるものが気づかれていない、日本に眠っている食品廃棄物などを発掘しております。これまでに一部を取り寄せて使ってみると結構良い結果が出ています。廃棄物を出している企業は、おカネを出して処分していますので、仮に費用がゼロになるだけでもメリットがあり、我々も原料費が安くなります。
宮藤	ありがとうございます。今のお話を聞いて山田さん。原料は集まるのではないのでしょうか。杉は集まるのではないのでしょうか。
山田	乾先生のおっしゃる通りです。我々の研究課題は国家プロジェクトとの関係性は大きいと思います。乾先生も触れておられましたが、SDGsを達成するという、国が達成すべき明確な数値目標があります。その達成に向けて産業界にも働きかけているのが現状です。こうした後押しがないと絶対に進まない側面があります。自分の立場からすると、エネルギー自給率、資源の自給率に思いを至らせると、石油を一杯輸入していて、加えてバイオマスは輸入することはしたくないと思っています。私は農林水産省系の研究所ですが、省間連携で検討されますが、バイオマスの政策を取りまとめる時は農林水産省がまとめます。なるべく地域にあるバイオマスを地産地消したいという考えがあります。乾先生もご指摘のように、周りをよく見ればあたりします。私の SIP リグニンのプロジェクトでは、林地残材というものが年間2000万m³ほど国内の森林に発生します。これをどうやって集めて取り出すのかという課題が、材料系の課題に含まれています。それ用の林業機械の開発も入っています。このあたりは珍しい内容が含まれているプロジェクトです。特に日本の森林ですと、我々の中で端ゴロと呼ばれる、木を切った際に残る根元の部分は、持ってくるのも大変なので、そのままにしますが、これもなるべく一緒に持ってくると、コストも抑制できるということを、ビジネスシミュレーションとして行っています。 一つの視点としてエネルギー自給率についても認識しながら研究をしています。
宮藤	ありがとうございます。それでは石油化学系のお仕事を中心とのことですが、明確な時期は別として、石油いつかはなくなるという中で、バイオマスをどのように捉えているのか、技術以外のところでお話してください。
堀	バイオマス製品ターゲットとしては、医薬品など、高付加価値品であれば、高いイオン液体を使っても狙うことができると思います。目標製品5000円以上の高付加製品として、イオン液体が1万円くらいだとしても、収率も考慮に入れると採算性の可能性は有るのではと思います。 しかし エネルギー分野や通常の溶剤を狙う場合、コスト比較し、仮に繊維に関連に使用している二硫化炭素の代替えとなると、非常に安い200円くらいの価格帯と思う。それに代わるイオン液体であれば、200円対1万円となると、研究をやろうという前

	に、企業としてはやらないことになります。色々な要素を考慮しますが、永遠にはできないものの、クローズの系の中でぐるぐる回す、イオン液体をリサイクルする技術的な革新があれば、200円にもでも対抗できるかもしれません。また、毒性や設備投資など、課題はありますが、高価な医薬品などに応用ができれば、単価も自然と下がることが期待でき、使いやすくなると思います。イオン液体が、第3の溶剤、未来の溶剤と言われる由縁です。 当社のイオン液体の販売は樹脂の改質剤を前面に出していますが、様々な大学の先生とのイオン液体の開発やご相談の中で思うのは、ターゲットを決めて、イオン液体がどのくらいのコストで運用すれば実用化になるのか、NEDO プロジェクトを通じて、プロセス溶剤としてのイオン液体利用を検討しているところです。
宮藤	ありがとうございます。バイオマスには様々な課題があり、普及が進んでいないと思います。 技術とは直接的な関係ありませんが、私は人材の育成にも関心を持っています。バイオマスの認知度が低いことを懸念しています。今日の先生方は、バイオマスについてご存じですが、大学1年生に「バイオマスを知っているか」と聞くと、「トウモロコシです!」と答えます。どうも、社会科の教科書にトウモロコシからバイオエタノールが作られ、アメリカやブラジルで普及していると書いているのを受けているようです。 そこで、「バイオマスはトウモロコシ」となるようです。間違いではないのですが、正解ではないということになります。 バイオマスが何たるかが分からず、基礎から教えていくと理解も進みます。理解が進み、深まれば次のステップに踏み出せると思っています。逆に我々のような研究者が技術開発して世の中に普及させれば、知らしめることができる考え方もあります。また、両輪で回すことも大切と考えています。技術開発も一生懸命に取り組みつつ、より多くの若い人に知ってもらう事にも力を入れています。 山田さんからご紹介された動画の件も、大切なことと思っております。 そろそろ、時間も迫ってきましたが、山田さん、堀さんのお話も踏まえて、質問等があれば少しお受けしたいと思います。いかがでしょうか？
会場1	堀さんにお尋ねします。化審法の対応をするのが前提とのお話しでしたが、取得にあたり、毒性以外の点で最もネックになりそうな点はどのようなところでしょうか？ 毒性を調べた時に、毒性が出そうだとか、出なさそうだから大丈夫だとか、可能性の部分も含めて、いかがでしょうか？
堀	先ほどのイミダゾリンのTFSIでは、その部分のフッ酸が発生し、毒性の懸念があります。イオン液体には想定する懸念は色々あります。一例で、カチオンとアニオンの毒性は既知であり、一方（カチオン）で変異原性があり、もう一方（アニオン）では変異原性がない、これを組み合わせる場合です。変異原性があるのか、また更に増大されるのか、わからないリスクがあります。 当社製品の経験として、毒性データ測定にて「1千万円程度の費用は掛かりました」カチオン側に、刺激の強いアミン化合物でしたが、増強されるデータにならず、通常の活性剤程度のデータでした。想定は出来ませんが、実際に重要な懸念がある場合、毒性データの測定をお奨め進めます。 他の考えとしてカチオン+アニオンの組み合わせで分子量増により、高分子の毒性データに近付くと想定します。 要約しますが、やってみないとわからない部分があるということです。
宮藤	もう御一方どうぞ。
会場2	日本はエネルギー戦略でも食糧戦略でも海外に依存せざるを得ないですが、バイオマスの戦略においては、国内でバリューチェーンを作ることができるということなのか、やはり海外に依存または海外との協力なしにはできないのか、どのようにお考えでしょうか？
山田	一つ言い損ねていましたが、今作っている改質リグニン、杉からしかできません。杉は、みなさんには親しみ深い樹木と思われていますが、日本固有で海外にない樹種です。多様性についてお話しましたが、日本は杉がプランテーションで植わっている国です。そのため同一樹種の物が、大量に採ることができます。この状況からリグニンファーストに考えると、工業材料化できますし、システムとして山から出すこともできる世界に

	ない、世界の先駆けの例として打ち上げられると考えて取り組んでいます。私の立場からは当然、国産のバイオマス以外は考えていません。ほかには竹とか早生樹と言われる成長の速い樹木や北海道の下川町で取り組んでいる柳の植林を資源作物として取り組んでいます。バイオマスは取れば植えられ、それが回っているという意味がありますので、海外からの化石資源と同等に考えるべきではないと思います。また、多くの行政関係者の方も同様の考えを持っています。しかし、省庁を跨ぐとわからなく面も出てきます。 このあたり、原料について RITE さんはどのようにお考えか、お聞きしたいと思います。
乾	ご質問の直接の答えではないかもしれませんが、原料は当然海外の方が安いのが現状です。原料も、労働費も安いので、例えば中国などの海外で生産した方が安くなります。バイオマスを海外から輸送して持ってくると高くなります。糖にして持ってきて、関税がかかり高くなります。バイオリファイナリーの実現を日本で行う場合は、やはり日本のバイオマスを使わなければならないと思います。しかし、日本では分散しているバイオマスを集めてくるとコストがかかるので、すべての成分（すなわち、セルロース、ヘミセルロース、リグン）を有効利用すると原料として安くなるので、同じバイオマス原料から、技術を組み合わせて、複数の製品を製造しようという NEDO のプロジェクトが進行しています。これにより、バイオマス由来の糖も非常に安価になることが示されます。又は、ICAO 総会の同意のようにどうしてもバイオジェットを導入しなければならないと国際的な約束や制度を導入する方法も重要です。また、一つの企業がバイオマス由来の糖類を原料としてバイオ製品の事業化をしても、その生産量が少ない場合には、別の企業がバイオマスから糖類を製造して販売する事業は成り立たない。多くの企業がバイオマス由来の糖類を原料として、様々なバイオ製品を生産するようになって初めて、バイオマスから糖類を常時、製造して販売することになり事業は成り立ちます。やはり、バイオマスからの製品をある割合使わなければならないといったような制度を国が導入することが望ましいです。
山田	リグニンのプラントでも糖がシミュレーションで、キロ 40 円で販売できないかと考えていますので、是非ご検討いただければと思います。
乾	非常にありがたい話です。是非検討させていただければと思います。
宮藤	そろそろ時間となりました。山田様も乾様のご理解も進んだのではないかと思います。最後はパネラーの皆さまのナビゲーションもあり、最後はきちんと纏まったと思います。バイオマスを何にするのか、何を使うのか、何に使ったのか、進む方向は変わりますが、これから、ここにおられるすべての方と色んな技術開発やディスカッションを深めて、バイオマス利用がさらに進むことを願っております。これにてディスカッションを終了したいと思います。 皆さま、ありがとうございました。