



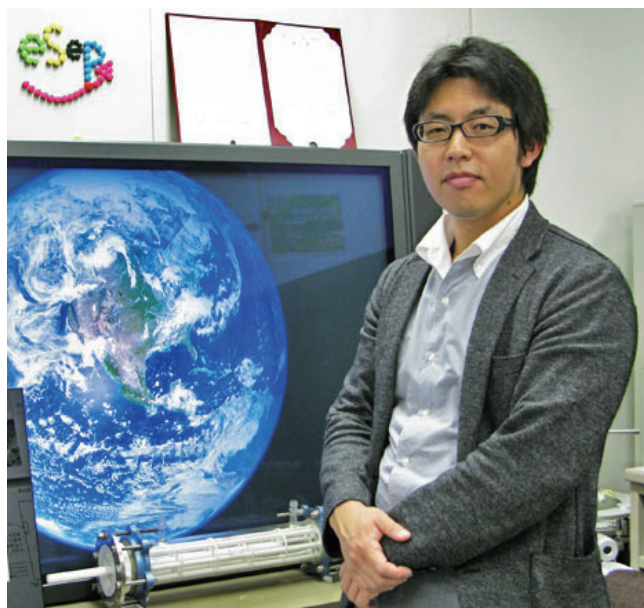
< 第 40 回 >

ナノセラミック分離膜の開発 ～分離プロセスの省エネ・グリーン化を目指して～

イーセップ株式会社 代表取締役 澤村 健一氏に聞く

化学工場では生成物の分離精製，例えば酢酸中に含まれる水の分離をはじめとする蒸留分離だけに全消費エネルギーの約 40% におよぶ多大なエネルギーを費やしており，省エネルギー化のボトルネックになっている。この蒸留プロセスを“ナノセラミック膜分離プロセス”に置き換えることにより，化学産業の省エネルギーにイノベーションを起そうとしている企業がある。2013 年 10 月に設立された「イーセップ株式会社」である。京都府けいはんなベンチャーセンターに拠点を置き，文部科学省ナノテクノロジープラットフォームの支援制度を活用して，ナノセラミック分離膜を中心とした膜分離システムの設計・開発・販売の事業化を目指している。

大学およびそれに続く企業で培った技術とノウハウをベースに，分離性能と物理・化学的安定性に優れたシリカベースの新たなナノセラミック分離膜を開発し，事業を展開している代表取締役の澤村 健一（さわむら けんいち）氏を，けいはんなプラザラボ棟のイーセップ株式会社京都本社を訪問し，ベンチャー立ち上げの経緯，ビジョン，メイン事業の状況，今後による展望，ベンチャーならではの喜びや苦労等を伺った。



ナノセラミック分離膜モジュールを前にした
イーセップ株式会社代表取締役 澤村 健一氏



1. ベンチャー設立の経緯：化学産業の 省エネイノベーションを目指して

1.1 設立に至る経過とその思い

早稲田大学では応用化学を専攻し，社会の役に立たねば技術に価値はないとの思いが芽生えた。そこで大学の研究成果を事業化するため，日立造船株式会社に入社しゼオライト分離膜の研究開発に係った [1][2]。分離膜の技術は出来たが，これをいざ実用化しようとした時，問題に直面した。大企業ほど初めから大規模で実施しようとするのでスタートが難しい。しかし，新しい分野ではそもそも市場はなく，セラミック分離膜は現在でも 10 億円以下である。また，大手のお客様に持ち込もうとすると「技術の良いは解りましたが，でも数年の稼働実績がないと我が社では採用出来ません」ということになる。

ではどうすれば事業化できるのかを考えていた時，関西経済連合会の「新規事業を展開するには？若手をシリコンバレーに派遣しイノベーションシステムを学び，関西に取り入れる」ことを目的としたプログラム（「起業家精神涵養のための若手経営幹部候補米国派遣プログラム」[3]）に出会った（2011 年 10 月）。澤村氏は日立造船の開発本部からの推薦で派遣された。シリコンバレーで澤村氏は多くのことを学んだが，中でも日本ではプレーヤーの寿命が短く，結果として数が少ないのが問題であると気付いた。大学の先生が引退してから（65 歳）ベンチャーを起しても，軌道に乗っていざこれからという時はもう 75 歳，タイムオーバーだ。そこで，ベンチャーは若いうちからやった方が良く考えた。澤村氏は「開発した技術は社会の役に立たなければダメ。私はドクターコースまで行った。ドクターコース出身者は，企業にしがみつくのではなく，新しい産業を生み出す方向に向かわねばならない」との思いが強く，自分自身がチャレンジすべ

きであると考えた。日立造船を退職し、2013年10月、開発型ベンチャー“イーセップ株式会社”（以下イーセップ）をスタートアップした。

1.2 イーセップ株式会社設立：技術系のZERO to ONEのアントレプレナー

事業内容に「膜分離システムの設計・開発・販売」を掲げ、京都府けいはんなベンチャーセンター [4] に活動拠点を置いた。自己資本金 300 万円と従業員兼役員である澤村氏 1 人による図 1（上）に見られる空き室からのスタートであった（机 3 脚はセンターの部長さんが見かねて貸してくれたものである）。

後述するような事業活動の結果、2015 年 10 月現在は、空き室だった部屋は澤村氏本人が修理し使えるようにした各種計測機器や合成炉等で埋まり（図 1（下右））、またオープンイノベーションによる活動内容が評価され“京都市ベンチャー企業目利き委員会による A ランク認定”[5] や“京都産業エコ・エネルギー推進機構による京都エコスタイル製品認定（ナノセラミック分離膜）”[6] を取得するに至っている。さらに、受注が決まったナノセラミック分離膜量産のための工場を大分県国東に立ち上げ中である（図 1（下左））

1.3 社名とロゴの込めたコンセプト

澤村氏の専門分野は①エネルギー、②環境、③材料で

ある。そこでこれらの問題に取り組むに当たって、オリンピックと同じように世界の人々に共感してもらえるようなコンセプトを持たねばならないと考え、それを表わすものとして企業名イーセップ（smile by easy, eco, efficient Separation: eSep）と図 1 のロゴマークを決めた。化学産業のエネルギー問題では現在分離プロセスはすごく複雑なものであるが、これを“簡単に（easy）に、エコロジカル（eco）で、効率の（efficient）良い分離（Separation）を達成することで、お客様ニコリ（唇に似せた凹の矢印）”の意を込めて、ロゴにした。技術屋は技術のみにこだわらずに役立つのかを忘れがちになるが、役に立ってお客様に喜んでもらえること、これの達成を澤村氏は最終目標にしている。

1.4 事業ビジョン

コンピューターの世界では、1954 年から 2015 年の約 60 年間でメモリ容量 300 万倍、重量 30 万分の 1、価格 1,000 万分の 1 が達成された。このようなイノベーションを、ナノセラミック分離膜をキーデバイスとして持ち込むことにより化学産業の世界でも同様の高性能化・小型化を起そうというのが澤村氏の掲げる事業ビジョンである。

イーセップでは今 3 つのテーマに取り組んでいる。一つは化学工場等における製品からの水（ H_2O ）の分離除去、二つ目はガス中の炭酸ガス（ CO_2 ）の分離除去、三つ目は有機ハイドライドから水素（ H_2 ）の分離採集である。以



図 1 イーセップ株式会社の状況。（上）スタート時（2013/10）（下）現在（2015/10）

下これ等について紹介する。



2. ナノセラミック膜による脱水システムの展開

2.1 分離プロセスの現状

化学工場にはよく巨大なタワーが見られる(図2)。ここで行われていることは、化学反応で目的の生成物例えばイソプロピルアルコールや酢酸の中に混じっている水分を蒸留によって分離し除去することである。蒸留は対象物を加熱し蒸気とし、次いで冷却し液体に戻す操作であるが、高純度にするにはこの操作を何度も繰り返す。このため、化学工場で消費する全エネルギーの約40%がこの蒸留による分離プロセスのために費やされている。

澤村氏の目指す事業は、蒸留プロセスを加熱・冷却を必要としない膜分離プロセスに置き換えることにより大幅な省エネルギーを実現しようとするものである。コンピュータの世界においてイノベーションをもたらしたトランジスタの役割を化学工場においてはナノセラミック分離膜に託するものである。

2.2 膜分離の原理

膜分離プロセスの原理は極めて簡単である。例えばイソプロピルアルコール(IPA:分子径0.47nm)と水(同0.3nm)の混合物中から水を分離除去するには、0.4nm程度の孔を持つナノ多孔質分離膜で篩い分ければよい。具体的には、例えば図3に示すようにセラミック製多孔質中空管の表面に分離膜を形成し、その表面にIPAと水の混合液を流すと分子サイズの小さい水は管内に透過し、大きいサイズのIPAは管表面を下流に流れ去る。

このような試みは既になされており、図4はNEDOのプロジェクトの成果を示したものである[1][2]。蒸留塔の後段に膜分離を付与することで還流量を減らし、50%以上の省エネルギーを見込んでいる(図4右上)。図の右下に示すように蒸留プロセスを総て膜分離プロセスに置き換えれば85%以上の省エネになることが期待されている[2]。イーセップのターゲットはここにある。

2.3 分離膜市場の規模と将来ニーズに対する課題

分離膜のおおよその市場推移のイメージを図5に示す。海水からの造水は蒸留でやっていたが、有機高分子膜が



図2 化学工場に見られる巨大タワー [1]

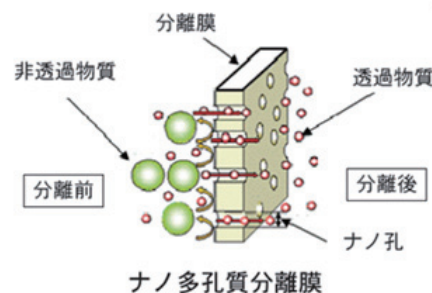
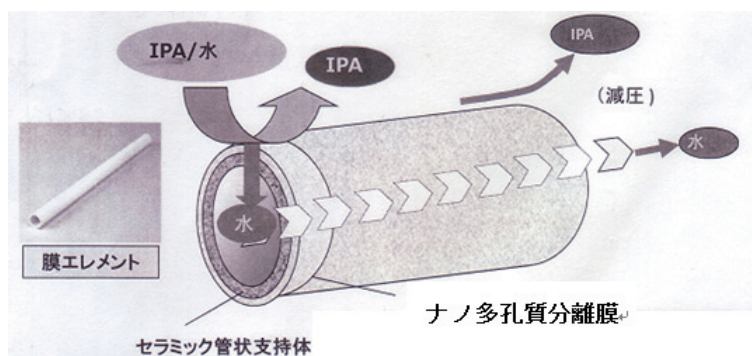


図3 膜分離のメカニズム [2]

1960 年頃から立ち上がり、今では約半分が逆浸透膜に置き換わっている。水処理や造水用途の膜そのものの市場規模は数千億円になっており、これに関連設備を含めると 3 ～ 5 倍の数兆円のビジネスになっている。

有機高分子の性能が向上しガス分離にも使い始められ、天然ガス中の CO_2 分離膜市場は 200 ～ 300 億円となっている。しかし、天然ガス中からの CO_2 分離で CO_2 の濃度が高くなるとポリマーは可塑化して軟化するので使えない。高濃度の CO_2 を含む天然ガス田は東南アジアに沢山あるが CO_2 分離コストが高いため使われていない。これがセラミック分離膜で使えるようになると、今までゴミの山であったものが宝の山になる。また、水素社会と

言われて久しいが、水素をエネルギーとして使うには、分離・精製しなければならずここにもコンパクトな分離プロセスが必要となる。

このようにニーズはあるが課題もある。高温高压を要求されるところでは物理的に有機高分子膜では耐えられず使用不可能である。そこで、高温耐久性に優れるナノセラミック分離膜は、先述の NEDO プロジェクトの事例のように現在開発されており、これが高温のみならず酸性や高濃度 CO_2 等の過酷な環境でも使用可能のポテンシャルを持っていることから期待されている（図 5 赤線、2030 年には 3,000 億円の市場予測もある）。

<現状: (例) 蒸留等>

<目指すプロセス: 膜分離>

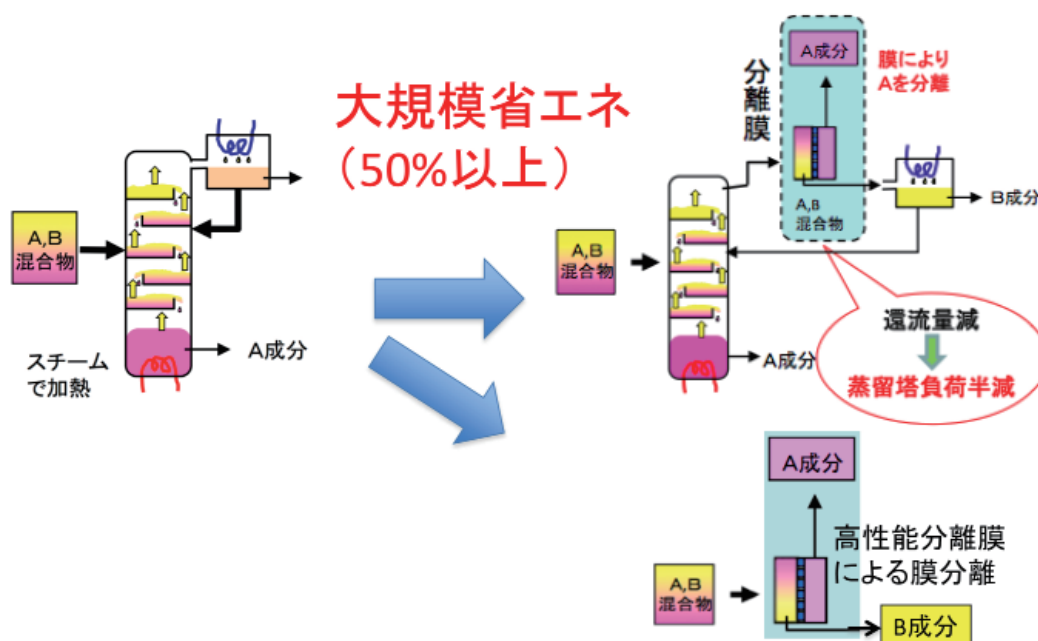


図4 膜分離プロセスによる省エネ化 [1]

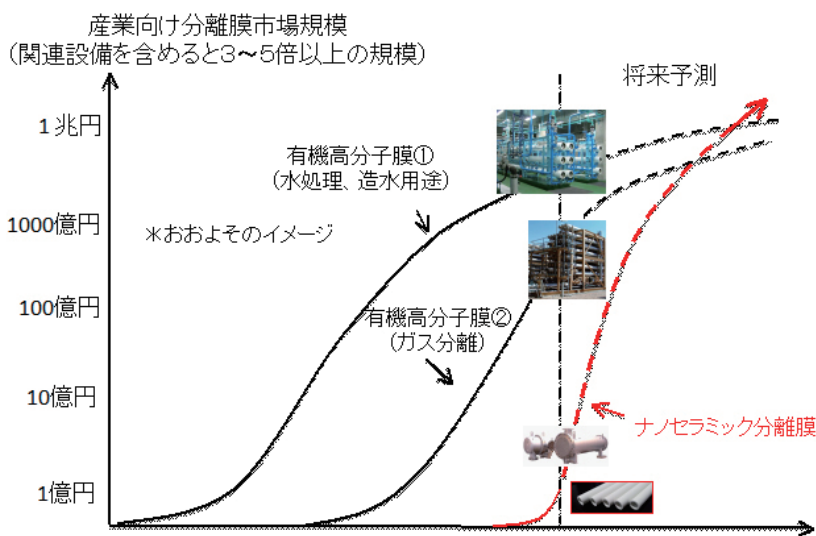


図5 分離膜の市場推移

2.4 イーセップのナノセラミック分離膜：耐酸性を備え透過性能に優れるシリカ薄膜

分離膜の孔径は、細菌（100～1,000nm）やウイルス（10～100nm）の分離では10nm以上であるが、化学産業での分離では分子サイズの1nm以下の領域になる。このサブナノ領域の孔径を精密に制御しかつ大面積の薄膜にしなければならないので、その設計・製造は格段に難しくなる。①酸性の水溶液に耐性のある分離膜材料の選定、②多孔質セラミック支持管表面に中間層を設け、その上に均質な所定の大きさのサブナノ径を持つ分離膜の形成技術、③熱膨張・収縮に耐える膜構造設計、等々多くのノウハウを含む技術が要求される。

澤村氏は、早稲田大学時代に修得した技術・ノウハウや連携している大学からの技術導入および開示されているその他情報をもとに一つ一つクリヤーしていき、図6に示すような性能を持つ分離膜の試作に成功した。多孔質アルミナ支持管表面に中間層を設けさらにその上に耐酸性に優れるシリカナノ分離膜をコーティングしたものである。この設計・製造プロセスの技術やノウハウがイーセップのコアコンピタンスの1つになっている。

図の縦軸“分離性能”は水/酢酸の透過比率を示すもので400以上であれば実用目的を達成できる。横軸の“透過性能”は単位面積・単位時間・単位圧力差のもとでどれだけの量の分離処理が出来るかを示すもので（脱水性能）、装置の小型化、コスト低減にとって重要なものである。イーセップのナノセラミック分離膜（短尺試作品）は、透過性能 $8 \times 10^6 \text{ mol} \cdot \text{M}^{-2} \cdot \text{S}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ であり、他のシリカやゼオライト、ポリマー等の分離膜より約2～5倍以上の高い値である。この高い値は、孔径の大きさがよく制御された均質な分離膜をより薄くしたことによって達

成されたものである。澤村氏は、この分離性能と透過性能を持つナノセラミック分離膜（短尺試作品）で、分離装置の必要面積の低減、装置の小型化、低コスト化が可能であると判断し営業活動を開始した。

2.5 ナノテクプラットフォーム支援制度活用による営業活動の促進

澤村氏は顧客に短尺のサンプル示しデータを説明したが、「とてもつるつるにきれいに仕上がっていますね」との褒め言葉は頂けるが、採用を検討しようというビジネスの話にはつながらなかった。澤村氏は、この顧客の反応より、短尺試作サンプルが良い性能を何故実現しているのか“why?”の説明が出来ていなかったことに気づき、説得力のあるデータによる“見える化”の必要性を痛感した。

そこで、文部科学省ナノテクプラットフォームの拠点の1つである奈良先端科学技術大学院大学にお願いして、透過電子顕微鏡（TEM, STEM）、電界放射型走査電子顕微鏡（FE-SEM）等を用いてナノセラミック分離膜の断面観察、各構成膜中の元素分布測定をしてもらった（図7、図8）[7]。

図7は、ナノセラミック分離膜の断面を示すFE-SEM像である。大きく分けて3層構造になっており、粒子の荒い下地である多孔質支持体上に、数百nmの微粒子で形成された中間層が観察されている。中間層上部の膜表面は分離膜であり、数百nm～1μmの膜厚で中間層の上部に欠陥なく形成されていることが確認出来る。図8は、STEM像のEDSマッピングをしたものであり、ナノセラミック分離膜の分離層はSiを主成分とするシリカであり中間層および多孔質支持体材料はAlを主成分とするアル

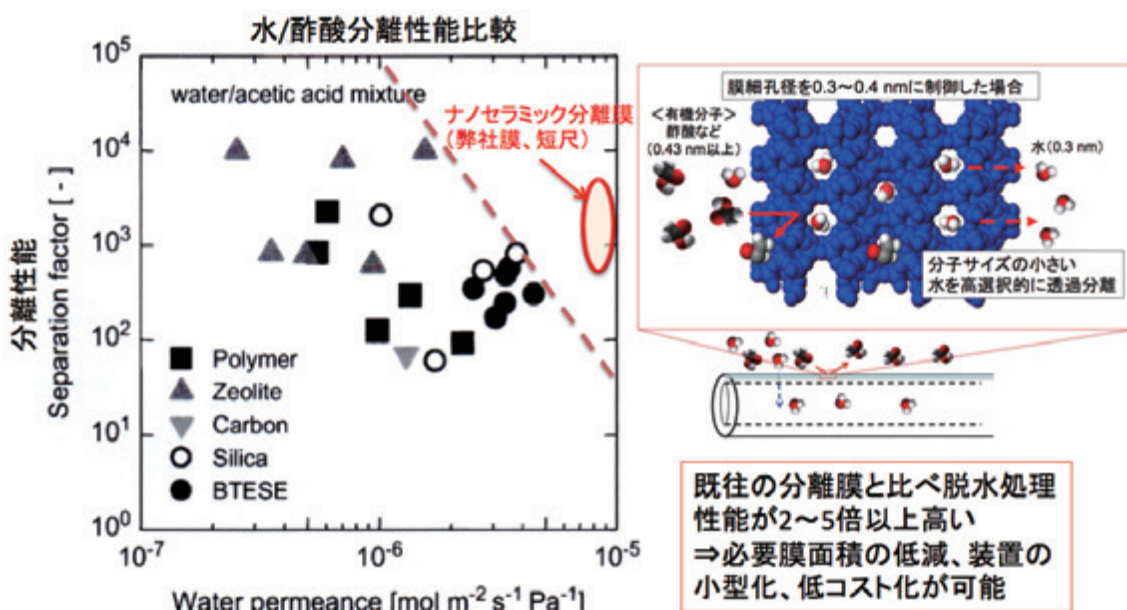


図6 ナノセラミック分離膜細孔径の超精密制御と薄膜化による高透過性の実現

ミナであるが、STEM 像、EDS マッピングより、Si はアルミナ中間層内部にほとんど侵入しておらず、膜表面のみにシリカの膜が出来ていることが示されている。

顧客にこの写真とデータを添えて試作サンプルの性能を改めて説明すると、多孔質支持体上に中間層を造り、さらにその上に薄い均質な分離膜を形成している製造技術やそれから引き出される分離性能と透過性能の良さを理解して頂くことができた。「なぜ良いのかがよく解った。検討したいのでサンプルを供給してくれ」との受注につながることができた。

「初対面の場合だと、“どこの馬の骨とも解らぬうさん臭い奴”と見られがちですが、奈良先端科学技術大学院大学のデータが“お墨付き”となって、最も大切な新規顧客との信頼関係が築け、商談を進めることができた。特にスタートしたばかりで、造るノウハウはあるが高価な計測・評価設備を持たないベンチャーにとって、ナノテクプラットフォームの設備と計測技術・ノウハウを利用できる支援制度は本当にありがたい。新しいアイデアの基礎固め、より良いものへの改良指針も得られ、さらに特許取得のためのデータも手にできる。これからも活用させて頂く」と感謝をこめて話された。

このようにナノテクプラットフォームで取得したデータの後ろ盾で受注も出来たので、短尺試作品を長尺化、量産化するために現在大分県国東に工場を建設中であることは既に述べた通りである。

なお、短尺サンプル試作時から長尺化、量産化を念頭に置いて開発しているので、プロセス上新たな大きな課題は起きていないとのことである。ベンチャーならではの合理的開発法である。長尺化と言ってもサンプルの5cm 長さを40cm にすることであり、1 人で持ち運び出来ないような長尺にする考えは全くないとのことである。人手がかかりコスト高になる上、分離膜の性能を上げて小型化することで導入してもらいやすい装置に仕上げることを目標にしているからである。

2.6 産学官連携による事業展開

以上述べてきたような経緯で水分離に関しては本格的な事業推進の段階に入ってきた。ビジネスモデルは、セラミック支持管を材料素材メーカーから購入し、イーセップ内で「セラミック表面のナノ加工をして分離膜機能を付与するナノセラミック分離膜製造」を行い、それをモ

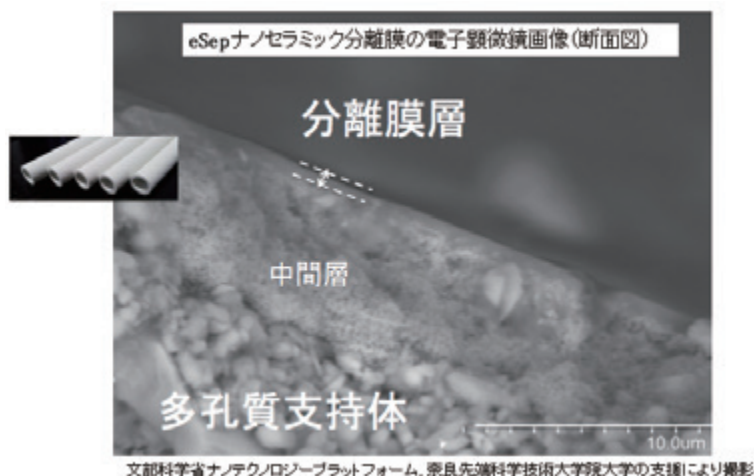


図7 ナノセラミック分離膜の断面構造

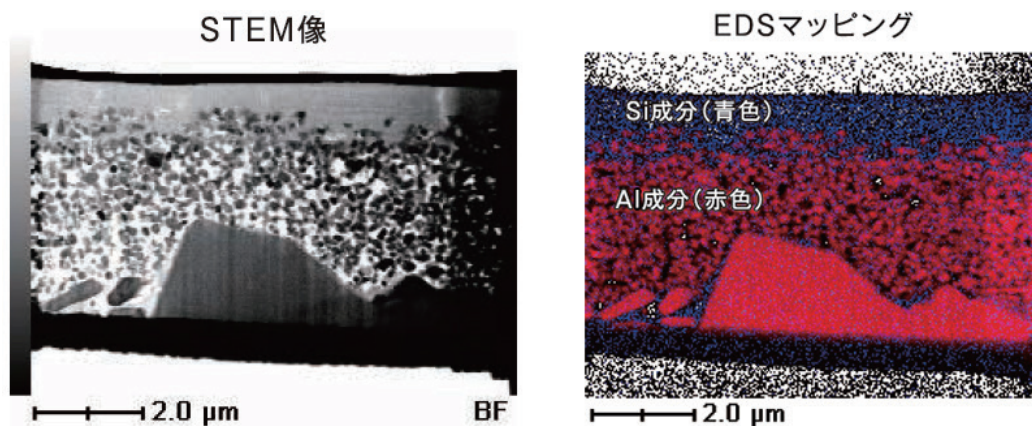


図8 ナノセラミック分離膜断面の元素分布

ジュール化して製品にするエンジニアリング会社又はユーザー企業や研究開発機関に販売するというものである(図9)。「けいはんな」を拠点とし、ベンチャー企業でしかできない役割に焦点を置き、大学、大企業、支援機関、VC等と連携させて頂いて事業を推進し、化学産業における蒸留プロセスをナノセラミック分離膜プロセスに置き換えることで、大幅な省エネをもたらすイノベーションを日本・関西・けいはんなから起したい」との展望を語られた。

以上述べてきた評価用有償サンプル供給がイーセップの中核事業である。一方、将来的に必要なと考えられる技術開発も、併行して、自己資金の範囲内でやっている。以下にその2例を紹介する。

3. CO₂ 膜分離による木質バイオマスガスの高エネルギー化技術開発

この研究開発は平成27年度地域産業育成産学連携推進事業(京都産業21)の採択テーマ[8]であり、代表者がイーセップ(株)代表取締役 澤村 健一、グループマネージャーが同志社大学理工学部 教授 千田 二郎先生の体制で進めている。けいはんなグリーンイノベーションフォーラム[9]との連携事業である。

3.1 背景

京都府には「竹は有り余っている。その成長力は旺盛で森林を侵食し、伐採しても3年もすればもとに戻る。また廃竹林は観光上も問題となっている。これを有効に活用できないか」との強い地域ニーズがある[10]。国も

農林水産省が「小規模な木質バイオマス発電の推進」を掲げている[11]。このような状況の中にあって、澤村氏らは小規模な木質バイオマス発電を念頭に置いて、木質バイオマスが現在ほとんど未利用の状況にあるのは何故かを調べた。理由は、

- ①資源が広域に存在し収集・運搬コスト大、よって大規模集約化が困難である
- ②木質ボイラー設備費が割高である(石油ボイラーの約2倍)
- ③発電用にガス化してもCO₂含有量が大きく(約4割CO₂)、従って発熱量が低いうえに設備が無駄に大きくなる(非経済的)

ということである。③に示されるように、剪定枝が熱分解して生じたガスにはCO₂が42.8%も含まれており、そのまま燃焼して得られる発熱量は3,000kcal/Nm³で家庭ごみ(CO₂:21.42%)の4,000kcal/Nm³よりも小さい(表1)。しかし、CO₂濃度が高い分、CO₂を除去すれば、剪定枝はCO₂除去による発熱量増大効果は大きい(図10)。

3.2 CO₂ 除去技術

以上の検討結果から木質バイオマスからのガス中のCO₂の除去を取り上げることにした。図11に各種CO₂除去技術の現状を示す。化学(アミン)吸収法は、火力発電所の燃焼効率向上法として大掛かりに検討されているものであり、その特徴はCO₂濃度が低くかつガス流量が大きいときに効力を発揮する[12]。これに対し膜分離法は、CO₂濃度が高くかつガス流量が小さいところで有用である。分離膜として有機ポリマー膜があるが先述のように耐熱性に乏しくかつCO₂が高濃度の条件下では可塑

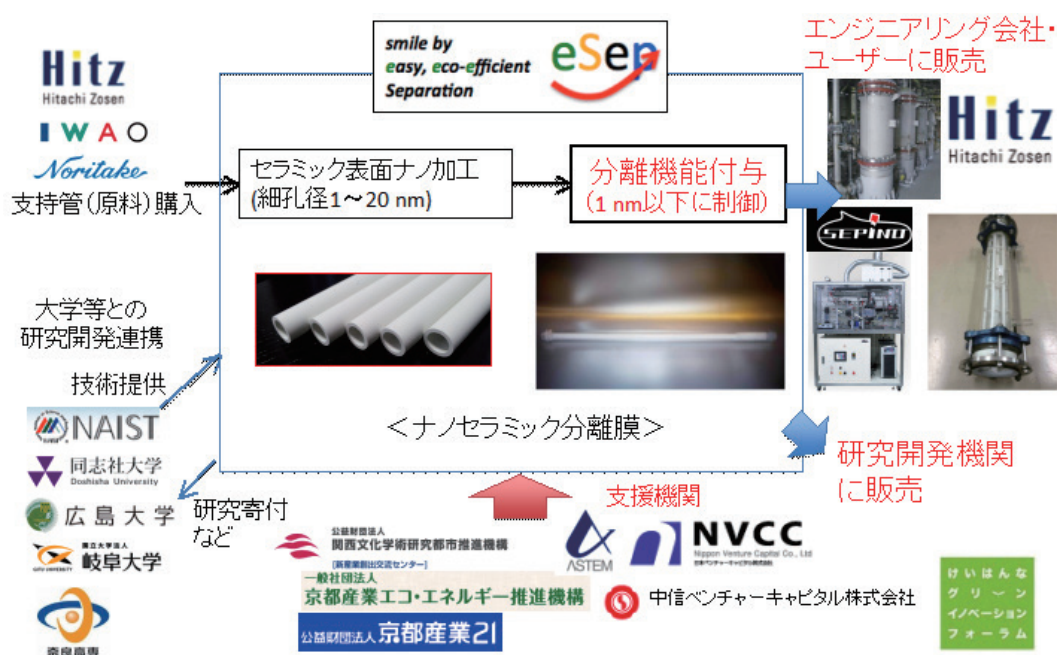


図9 産学官連携によるナノセラミック分離膜の事業展開

表 1 廃棄物の熱分解による回収ガスの組成と低位発熱量

No.	ガス成分	組成[%]			
		①剪定枝	②廃プラスチック	③家庭ゴミ	④コーヒー豆 搾りかす
1	水素	16.17	9.1	19.71	6.69
2	酸素	0.48	1.4	0.18	0.95
3	窒素	1.36	22.5	6.296	5.93
4	一酸化炭素	42.8	12.8	21.42	38.41
5	二酸化炭素	21.17	15.3	32.88	35.18
6	メタン	12.81	10.6	8.45	6.73
7	エチレン	0.68	12.3	6.13	5.36
8	エタン	1.72	1	1.11	0.25
9	プロパン	0.64	0.2	0.17	0.04
10	プロピレン	0.6	8.6	3.52	0.47
11	ブタン	0	0	0	0
12	ブチレン	0	6.2	0	0
13	硫化水素	0.2	0	0.08	0
14	酢酸	1.37	0	0.054	0
計		100.0	100.0	100.0	100.0
低位発熱量[kcal/Nm ³]		2,909	6,979	4,031	2,711

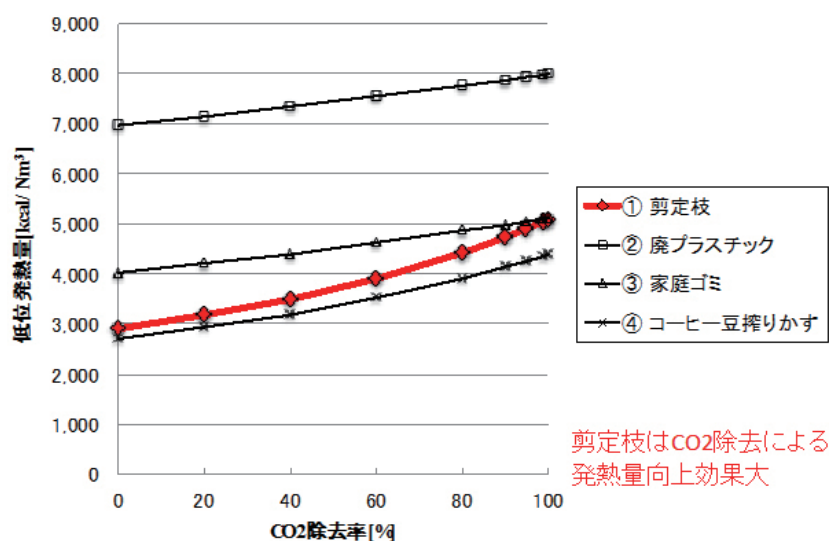


図 10 ガス化成分中の CO₂ 除去による発熱量向上効果

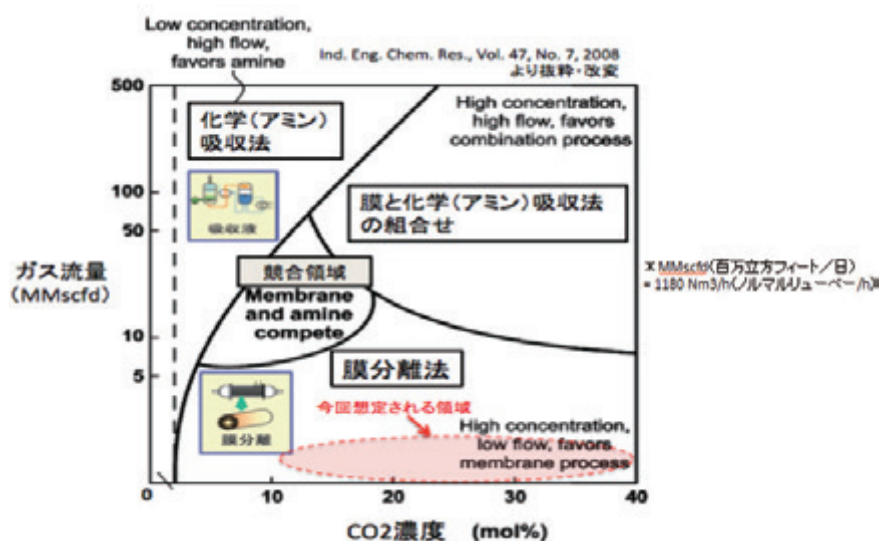


図 11 各種 CO₂ 除去技術の好ましい適用領域

化するので使えない。地域のニーズである大規模集約が困難な廃竹の場合、ガス流量は少なく CO₂ 濃度が 40% 以上と高い領域になる。しかも高温のガス化したその場での分離には高い耐熱性が求められるので、ナノセラミック膜分離が有効である。

ただし、ここでは先に紹介した分子篩を利用したシリカ分離膜のままでは対応できない。剪定枝（竹）のガス化成分中の発熱に寄与しない CO₂（濃度 42.8%，分子径 0.33nm）を，H₂（分子径 0.29nm）などのより小さな分子中から除去する必要がある。セラミック分離膜のナノ細孔空間を化学的に修飾することによって，CO₂ を選択的に吸着・透過除去する膜を設計，作製し，高エネルギー化技術の開発を行っている（図 12）。分離除去された CO₂ は，施設園芸での生育促進材としての活用を考えている。これが実現すれば，① CO₂ 除去による発熱量増加と，② 後段のガス処理量低減につながり，③ ガス発電装置の小型化・低コスト化が可能になる。

さらに，このような高濃度の CO₂ の膜分離技術が開発出来れば，東南アジアに多くある高濃度 CO₂ 含有ガス田の使用が可能になる。現在これ等のガス田は，従来の CO₂ 除去技術ではコストに見合わないので放置されているが，ナノセラミック膜分離技術でこれがクリヤー出来れば，この死財は宝の山に変身でき，日本のエネルギー問題にも大きく貢献することになる。



4. 有機ハイドライドを利用した水素エンジン高効率化のためのシリカ膜反応器の開発

このテーマは将来有望なものとして平成 27 年度京都エ

コノミック・ガーデニング支援強化事業＜研究開発型＞（京都産業 21）に提案して採択されたものである。代表企業はイーセップ株式会社（京都府），連携企業は日立造船株式会社（大阪府）である。

4.1 背景

燃焼しても水（H₂O）しか生じないクリーン燃料として水素（H₂）の利活用が長いあいだ検討されている。また，本年より固体高分子形燃料電池を搭載した電気自動車“MIRAI”がトヨタ自動車より販売され話題を呼んでいる。一方で澤村氏らは，水素エンジンによる自動車に着目している。レシプロ式ガソリンエンジンはバックファイヤを起こすため H₂ を使うことが困難だが，この点ロータリーエンジンは H₂ を噴射する部屋と燃焼する部屋が異なりバックファイヤを起こす危険性が少なく，ガソリンと同様に H₂ を使うことができる。この場合も燃焼生成物は H₂O のみであることから，このシリカ膜反応器を提案し開発を進めている。

H₂ を燃料とする場合，常温常圧で気体で嵩張る H₂ をどのように貯蔵しどのように運搬するかが今も課題である。燃料電池自動車の場合，H₂ を圧縮して 750 気圧のボンベに貯え車に搭載しているのに対し，澤村氏らは有機ハイドライドであるメチルシクロヘキサン（C₆H₁₁CH₃）を水素蓄積材（水素キャリアー）にしようとしている。即ち，下式に示すようにトルエン（C₆H₅CH₃）に 3H₂ を付加するとメチルシクロヘキサンになるが，この平衡反応を利用して水素を貯蔵・運搬・取り出しを行おうとするものである。



この場合，メチルシクロヘキサン，トルエン共に常温常

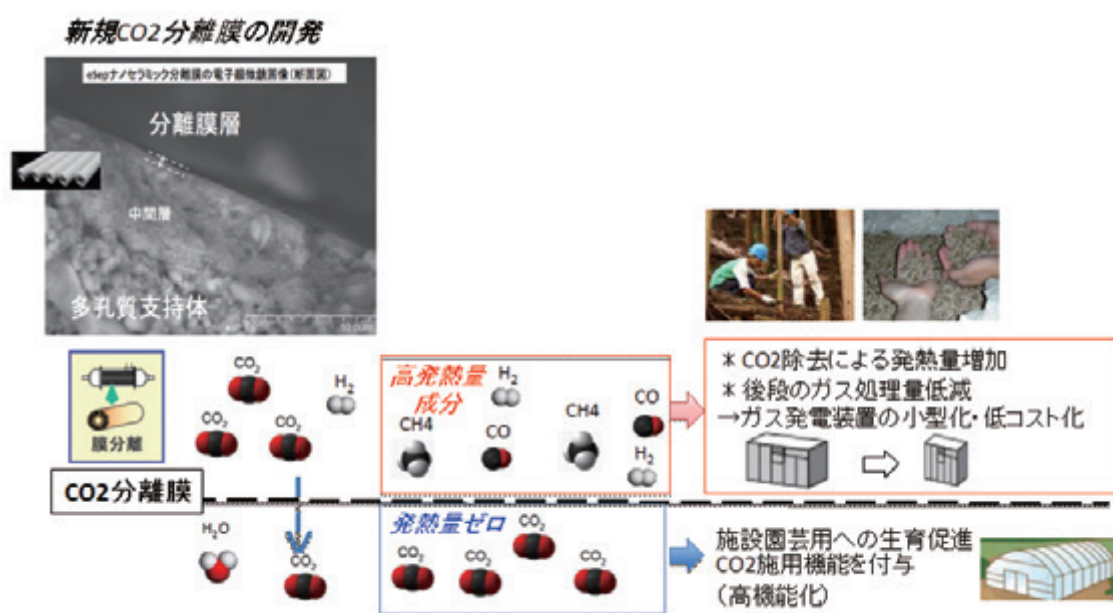


図 12 CO₂ 膜分離による木質バイオマスガスの高エネルギー化技術開発

圧で液体であるので、既設のガソリンスタンドを使用できるメリットがあり、またメチルシクロヘキサンはガソリン成分の一部でもあり安全性に係る取り扱いにおいても特に厳しい規制はない。(トルエンには若干の規制がある)。

水素の液体キャリアーとしては、他に液体水素、アンモニアなどがあるが、これ等を温室効果ガスの排出、体積水素密度、必要とするインフラ等から比較評価したのが表2である。液体水素は-253℃まで冷却する必要があることから自動車には向かない。アンモニアは-33℃に冷却又は10気圧に加圧する必要がある。冷却も加圧も必要としないメチルシクロヘキサンがこの3者の中ではバランスがとれていて好ましい。

4.2 膜反応器 (メンブレンリアクター)

自動車に搭載されたメチルシクロヘキサンから水素を取り出し自動車エンジンに供給する機能を持つメンブレンリアクターの概念図を図13に示す。メチルシクロヘキサンからの水素生成反応は平衡反応であって図の左に示すように一定温度で水素の割合が一定になったところで平衡になる(ストップする)。この平衡反応で水素を遊離する方向の反応は吸熱反応である。従ってメチルシクロヘキサンを250-350℃の空間に移すと図の右のように

メチルシクロヘキサンは水素を放出してトルエンになる。メチルシクロヘキサンおよびトルエンの分子径は0.55nm以上であるため、250-350℃の場に0.3～0.5nm径の細孔を持つナノセラミック分離膜を配置すれば、0.29nmの水素分子を透過してエンジンに送ることができる。ここで250-350℃の熱源をエンジンの排気に求めるのが本提案のキーとなるところである。別途適当な熱源があれば、このシステムは酸素水素燃料電池車にも適用可能である。

水素分離膜としては有機高分子膜、パラジウム金属膜があるが、前者は250-350℃の高温に耐えられず、後者は膜材料が高価であり、燃料電池ほどの高純度水素である必要がない水素エンジン用途としてはオーバースペックである。そこで澤村氏は、高温での利用が可能で膜原料が安価なナノシリカ膜でこの目的を達成すべく開発中である。

4.3 提案する水素利用の全体像

本事業で提案する水素利用の全体像を図14に示す。必要な水素は従来通りの化石燃料を分解して取り出してもよいが、風力、水力、太陽光、バイオマス等の再生可能エネルギーから得ることを想定している。そして、その水素を既存の確立されている技術を用いて工場でトルエンと反応させメチルシクロヘキサンにする。得られたメ

表2 水素の液体キャリアーの特性比較 [13]

	温室効果ガスの排出	体積水素密度 (kg-H ₂ /m ³)	必要なインフラ	その他
液体水素	燃焼時にCO ₂ を排出しない	気体水素の1/800の容積で、同重量の水素の輸送・貯蔵が可能 (-253℃)	液体水素用のインフラが必要。	小規模では、既に実用化されている。
MCH* (メチルシクロヘキサン)	燃焼時にCO ₂ を排出しない (トルエンからはCO ₂ 排出)	気体水素の1/500の容積で、同重量の水素の輸送・貯蔵が可能 (常温)	ガソリン用のインフラの利用が可能。	実証段階
アンモニア	燃焼時にCO ₂ を排出しない	1/1,200の容積のアンモニアで、同重量の気体水素の輸送・貯蔵が可能 (-33℃または10atm)	既存のインフラの利用が可能。	一部、研究開発段階

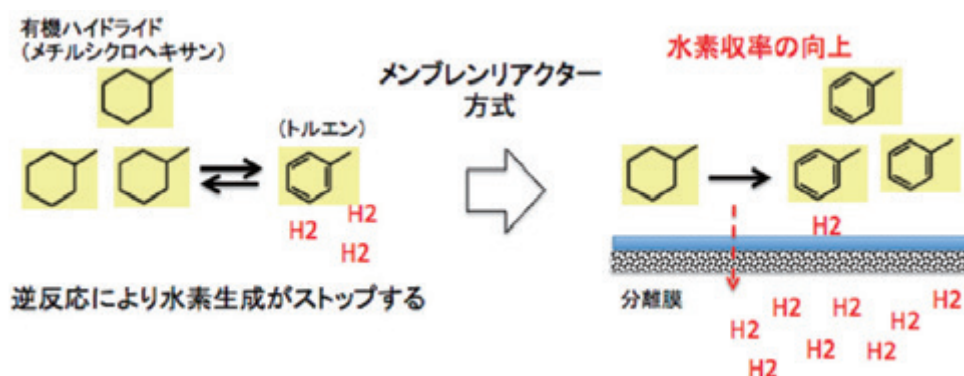


図13 メチルシクロヘキサンから水素を分離抽出する膜反応器の概念図

チルシクロヘキサンを既存のガソリンスタンドに移し貯蔵槽に貯える。燃料を必要とする自動車のタンクにメチルシクロヘキサンを注入し、そこで後述する方法によってメチルシクロヘキサンを水素とトルエンに変換し、水素をロータリーエンジンに供給し、残ったトルエンはタンク内に貯まるがこれをガソリンスタンドで新しくメチルシクロヘキサンを注入する時にスタンドに返す。集まったトルエンは工場に移送され、そこで水素化され再びメチルシクロヘキサンに転換される。以上のように再生可能エネルギーで発生させた水素を、トルエン・メチルシクロヘキサンを媒体として、自動車で消費するループである。

事業化に向けた研究開発体制を図 15 に示す。イーセップがシリカ膜反応器の設計・解析を行い、日立造船がセラミック膜基材、膜モジュールの製造を行い製品化して、

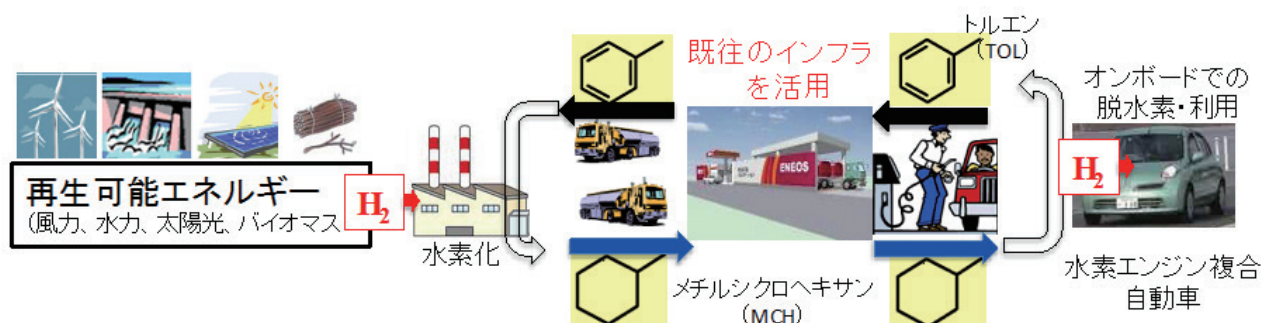
日立造船の販売網を通して車両メーカーへ販売する。同志社大学からは水素エンジンの立場からの検討と助言を頂く。

「2020 年のオリンピックで水素ポンペを積んだ燃料電池自動車活躍すると思うが、このシステムを搭載した自動車も走らせて見たい」との夢を語られた。



5. 経営の現状と将来展望

「大学でできることは大学で、大企業でできることは大企業で、それだけでは全体としてうまく進まない、その狭間を埋める支援機関として、ベンチャーの役割は大きく、それにより全体としてイノベーションを起そうと努めている。そうやっていると言っている人も出てきて、人・



模本ら、文献【<http://www.pecj.or.jp/japanese/report/2006report/06sin04.pdf#search=オンボード水素膜反応器>】をもとに改変
*原書図中の水素源を再生可能エネルギーに変更、FCVを水素エンジン複合自動車に変更。

図 14 有機ハイドライドを利用する水素利用事業の全体像

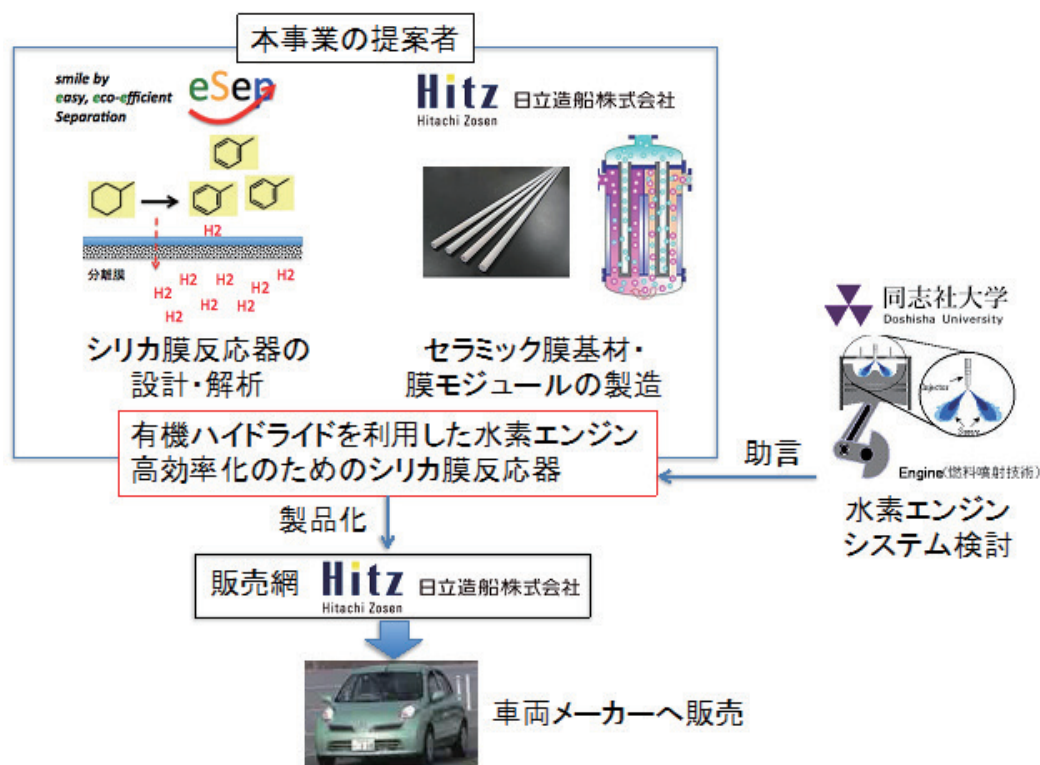


図 15 メチルシクロヘキサンから水素を分離抽出する自動車用膜反応器事業の協力体制図

もの・金が集まり、ここで紹介したような事業を進めることができている。大学での研究の時も大企業での開発の時も資金のことを全く心配しなくて良かったが、ベンチャーでは資金繰りを充分配慮する必要がある。売上に結びつかなければ生きていけないので、現状の売り上げで、将来のよりよい計画を考えるまさしく PDCA サイクル (Plan-Do-Check-Act cycle) を実践している」と澤村氏は現状を総括している。

そして、こうしながら「ベンチャー企業にしかできない役割に焦点を置き、大学、大企業、支援機関、VC 等との連携により、関西、けいはんなからの新たなイノベーションのエコシステムを具現化できる体制づくりは進んでいます。まずは世界的に日本に注目が集まる東京オリンピックの 2020 年頃の IPO を目指します。私自身、現役でこれから 30 年間は闘えますから、その頃にはエネルギー産業の分野で数兆円規模の世界的企業に発展させ、けいはんなからのイノベーションを具現化させます。10 年、20 年、30 年後、イノベーションといえばシリコンバレーでなくて『関西、けいはんな』から！これに賛同して一緒に取り組めるパートナーを求めています。」と将来への展望を語られた。



6. ベンチャーならではの喜びや苦勞

最後に、これからベンチャーを起そうとしている若い人へのメッセージを込めて、ベンチャーならではの喜びや苦勞についてお伺いした。お話を聞いたことを箇条書きに紹介する。

- ・自分自身で立てたコンセプト、目標を持つこと。
- ・自分の立てた目標に向かって、総てを自分の意志で決め、進めることができるのは醍醐味である。勿論、言い訳はなし。総てが自己責任ではあるが悔いはない。
- ・それにより実力は目に見えてしっかりとつく。コスト意識もつく。小さくスタートし素早く行い、そして大きく育て、社会にイノベーションを起す気概のある方はチャレンジして見ては如何か。苦勞は多いが充実感を伴った楽しいことも多い。



終りに

“応用化学を学んで、開発した技術は応用され役に立ってナンボである”との強い信念のもと、ナノセラミック分離膜をキー技術として、化学産業における分離プロセスプロセスの省エネルギーにイノベーションを起そうと真正面から取り組んでいる澤村氏の姿勢に感動した。本文で紹介したナノセラミック分離膜を用いた脱水システム、小型バイオマス発電システム、水素自動車等が一日も早く実現することを期待している。

“簡単に、エコロジカルで、効率の良い分離を達成することで、お客様ニッコリ”を基本姿勢に、産学官連携による事業推進の中で、イーセップ株式会社がベンチャーの立ち位置でその役目を果たし実績を積み重ね、世界の省エネルギーを推進するリーディングカンパニーに成長するようエールを送りたい。



参考文献

本文中掲載の図表は、イーセップ株式会社 澤村 健一氏よりご提供頂いたものである。

- [1] NEDO, 「規則性ナノ多孔体精密分離膜部材基盤技術の開発」(中間評価報告書), <http://www.nedo.go.jp/content/100483632.pdf>
- [2] ナノテクジャパン, 「規則性ナノ多孔体精密分離膜部材基盤技術の開発 ～持続可能な省エネルギー化学産業を目指して～」, NanotechJapan Bulletin, Vol.7, No.6(2014), <http://nanonet.mext.go.jp/magazine/1173.html>
- [3] 関西経済連合会, 「起業家精神涵養のための若手経営幹部候補米国派遣プログラム」, <http://www.kankeiren.or.jp/material/pdf/2009/110411youngamerica.pdf>
- [4] 京都府けいはんなベンチャーセンター: <http://www.keihanna-plaza.co.jp/incubator/>
- [5] 京都市ベンチャー企業 目利き委員会: <https://www.venture-mekiki.jp/>
A ランク認定企業名鑑: http://www.venture-mekiki.jp/catalog/type/post_37.php
- [6] 京都産業エコ・エネルギー推進機構: <http://www.kyoto-eco.jp/>
京都エコスタイル製品認定: <http://sites.esep-membrane.com/home/20151015printedinkyotoecostylerecognitionproductcollection2014jingdouekosutairurendingzhipinjinijiezaisaremashita>
- [7] 科学技術振興機構 (JST): 「ナノセラミック分離膜」, <http://mswebs.naist.jp/wp-content/uploads/2015/09/9a0078b1f716a7534acc06f114d06329.pdf>
- [8] 平成 27 年度地域産業育成産学連携推進事業採択 (京都産業 21): https://www.ki21.jp/josei/chiikisangyou/saitaku_H27.pdf
- [9] けいはんなグリーンイノベーションフォーラム: <http://www.kgi-forum.org/>
- [10] 京都「山城の森」コンソーシアム: 「放置竹林」の問題解決に向けて: <http://www.yamasiroconso.com/images/vision.pdf>
- [11] 農林水産省: 「小規模な木質バイオマス発電の推進について」(平成 27 年 1 月 28 日), <http://www.meti>

go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/017_01_00.pdf 資料 1
http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/018_02_00.pdf 資料 2

[12] 三菱重工, 「三菱重工の排ガスからの CO₂ 回収技術」(2008), <http://www.meti.go.jp/committee/>

materials2/downloadfiles/g81125d03j.pdf

[13] 塩沢文郎, 「水素エネルギーの利用と SIP 「エネルギーキャリア」」, JRCM NEWS, No.342, pp.1-4(2015), <http://www.jrcm.or.jp/jrcmnews/1504jn342.pdf>

(真辺 俊勝)