

企画セッション | 部会・連絡会セッション：炉物理部会

■ 2022年9月8日(木) 13:00 ~ 14:30 | 会場 E1棟3F 32番教室

[2G_PL] 炉物理発、ベンチャー起業のすすめ

座長：和田 怜志 (東芝ESS)

[2G_PL01] 炉物理から原子力ベンチャーを考える

概要とベンチャーのサポート紹介

*山崎 正俊¹ (1. スタズビック・ジャパン)

[2G_PL02] ベンチャーでの活動状況と技術融合に向けた取り組みの紹介

*田淵 将人¹ (1. 京都フュージョニアリング)

[2G_PL03] My custom-made nuclear career: from a PhD in reactor physics to founding an owner-operator of SMRs in Estonia

*Merja Pukari¹ (1. Fermi Energia)

炉物理部会セッション

炉物理発、ベンチャー起業のすすめ

Reactor Physics Engineers be Ambitious! - Suggestion of Venture Start-up

(1) 炉物理から原子力ベンチャーを考える～概要とベンチャーのサポート紹介～

(1) Why nuclear venture with Reactor physics? -background and outline-

*山崎 正俊¹¹スタズビック・ジャパン

1. はじめに

世界の原子力業界ではいま、レガシー企業の枠を超えベンチャー企業主導による小型モジュラー炉等の新型炉開発が盛んに進められている。ところが、日本国内では原子力分野におけるベンチャー企業の動きは活発とは言えず、原子力・炉物理分野の研究開発に閉そく感が生じている。

国内のベンチャー企業に関しては、2019-2020 年調査で大学発ベンチャーが約300社増加するなど、多くの大学でベンチャー創出に力が入られている。そのため、学生・若手エンジニアのみならずベテラン・シニアエンジニアのセカンドキャリアとしてベンチャー参画も身近な選択肢となりつつある。

本セッションでは、国内の原子力業界の閉そく感を打破するカンフル剤となるべく、原子力業界の核となる炉物理分野からベンチャーについて考える。まず講演(1)では、本セッションの導入として、いま原子力ベンチャーを議論する意義と国内におけるベンチャーを支援するしくみについて紹介する。続く講演(2)、(3)では国内外で実際にベンチャーとして活躍している方から、その経験を紹介していただく。

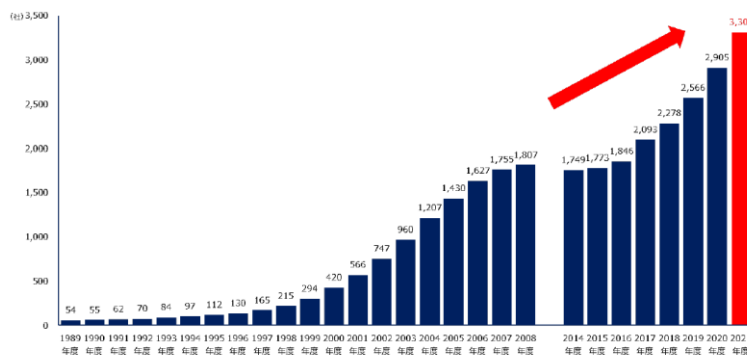


図1 大学発ベンチャー数の推移

2. どうして私がベンチャーを勧めるのか？

それはつまり「それが、これから未来の働き方に直結するから」である。

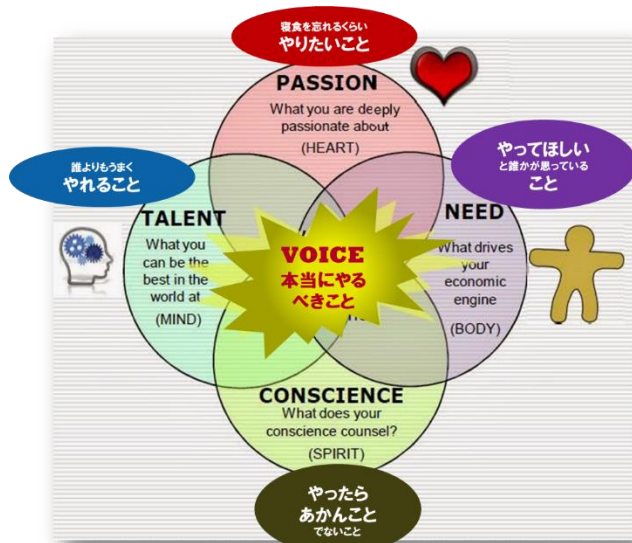


図2 真にやるべきこと”VOICE”

様々な研究者、成功者が語る「未来の働き方」のキーワードは、「自立した個人たちの協働」、「継続的学習」、「自身の強みへのフォーカス」である。ひとつの企業で定年まで勤め続ける終身雇用制は既に崩壊し、有名企業といえども失職のリスクは付きまとうようになった。そこで求められるのは企業に依存することなく、個人として自立し、組織内外の他の個人と協力しながら仕事を完遂する能力である。そのためには日々変化する環境に対応するため柔軟かつ継続的に学習し続けることと、自分自身を知り、自分が真にやるべきこと“VOICE”を見つけ、自分だけのストーリーを語れることが必要となる。

原子力業界は「複数のプロフェッショナル」を目指すためにうってつけのフィールドである。原子炉工学（核、熱水力、機械、水化学、照射、構造、土木）、情報科学（数値計算、ロボット、AI、ブロックチェーン）、技術者実務（プロジェクトマネジメント、品質保証、知財戦略、法令順守、核セキュリティ）、人文知識（哲学、社会学、経済学、地政学、国際政治学、企画力、政策立案、説明力、交渉力、異文化マネジメント）など、その気になれば何でも学ぶことが出来る。

必ずしも会社を興すことだけがベンチャーではない。上記のような様々なことを学び、スキルを身につけ、自分だけのストーリーを語るため、組織の内外、大小を問わず冒険的事業に取り組むことが、これから求められる働き方の本質なのである。

3. ベンチャーを支援するしくみ

とはいうものの、では何から始めればいいのか途方に暮れる方も多いだろう。そこで後半ではベンチャーを支援する様々な仕組みについて紹介する。

国連の持続的開発目標(SDGs)が浸透し、脱炭素の目標のもと、世界中で環境、社会、企業統治に優れた企業に選択的に投資すること（ESG 投資）が盛んになっている。このため、新たな投資先として化石燃料事業ではなく、より環境持続性に寄与する事業へ資金が集まっている。

日本においても新たな成長戦略の一環としてベンチャー育成の重要性が認識され、様々な大学、企業、地域などでベンチャーを支援するしくみが構築されている。

発表では、JAEA、東大、京大、阪大、京阪神地域における取り組みを例示し、起業意識の育成、資金調達、知財管理、経営戦略、企業とのマッチングなど様々な助言、支援が得られる仕組みが整っていることを紹介する。

参考文献

- 1) 経済産業省 Web サイト：大学発ベンチャー実態調査の結果より
<https://www.meti.go.jp/press/2022/05/20220517001/20220517001.html>
- 2) フランクリン・コヴィー・ジャパン「7つの習慣 ビジヨナリー・キャリア」より
- 3) 大阪大学共創機構 Web サイト：ベンチャー創成支援より
https://www.ccb.osaka-u.ac.jp/service/venture_shien/
- 4) 大阪スタートアップ支援ポータルサイト：京阪神スタートアップ アカデミア・コアリションより
<https://www.innovation-osaka.jp/ja/startup-ecosystem/score-gap/>

*Masatoshi Yamasaki¹

¹Studavik Japan

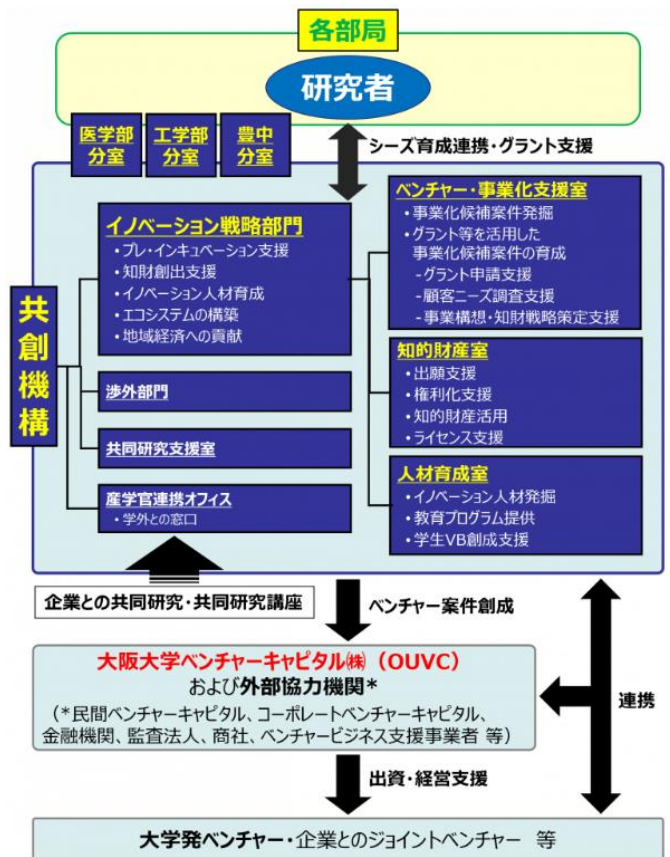


図3 大阪大学における産官学連携のしくみ

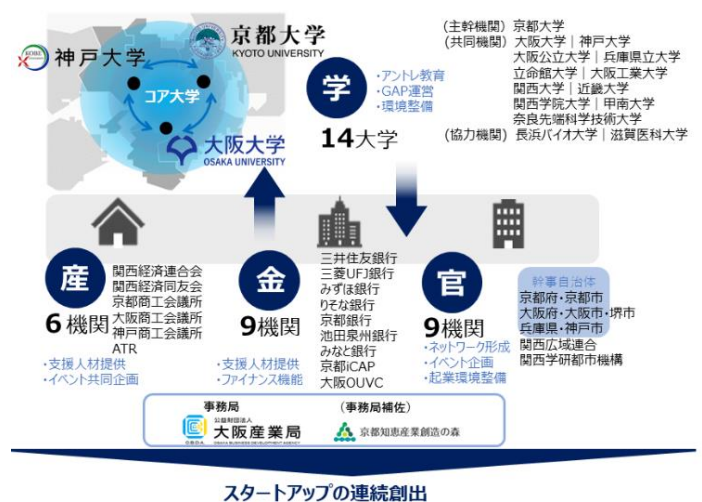


図4 京阪神スタートアップの取り組み

炉物理部会セッション

炉物理発、ベンチャー起業のすすめ

Reactor Physics Engineers be Ambitious! – Suggestion of Venture Start-up

(2) ベンチャーでの活動状況と技術融合に向けた取り組みの紹介

(2) Challenge to Technology Fusion on Kyoto Fusioneering.

*田渕 将人¹¹ 京都フュージョニアリング

1. はじめに

本セッションにおけるキーワードである「炉物理」、「ベンチャー」と関連し、講演(2)ではこれまで炉物理に携わってきた技術者である登壇者が、自身のベンチャーへの転身の事例を取り上げ、その体験を基にベンチャーでの活動状況や炉物理との関わりについて紹介する。

2. ベンチャーへの転身

本題に入る前に、ベンチャーに転身するまでの経緯を説明する。登壇者は、大学4年時に炉物理の研究室に配属となったのち、卒論では炉雑音解析、修論では中性子輸送計算手法の高度化について研究を行い、炉物理の基礎を学んだ。その後、民間企業にて主にPWRの炉心設計業務に従事するとともに、核計算コードの開発業務に従事した。核計算コード開発においては、社会人博士としての研究活動も実施し、中性子輸送計算手法の高度化の研究を通して学位を取得した。大学4年時から炉物理一筋で約19年間を過ごし、炉物理の発展を肌で感じてきた状況ではあったが、炉物理の枠にとらわれずに原子力・エネルギー業界全体の発展に貢献したいとの思いから、少しずつ他分野への転身を視野に入れるようになった。これは決して炉物理を見限ったのではなく、炉物理技術の他分野への展開（さらにはその逆）を狙ったものであり、炉物理との関連性がある分野が選択肢となった。しかしながら、決して若手とは呼べない年齢の技術者にとって他分野への転身は現実的にハードルが高く、身の振り方を決めかねている状況であった。そのような中で、核融合ベンチャーである京都フュージョニアリング（以降、KFと呼ぶ。）を知る機会があり、経営陣を中心にKFメンバーと対話を進めていくこととなった。核融合分野が選択肢に挙げたのは、自身の専門分野である中性子輸送計算関連技術であれば、トリチウム増殖、遮蔽、放射化などの核融合分野の技術課題に活用できる可能性があるとの思いからである。その後、KFとの対話を重ねるにつれて、新しいことへの挑戦の気持ちとKFのビジョン・熱意への共感が次第に強くなり、セカンドキャリアとして核融合分野の技術者になることを決断するに至った。振り返ってみれば、自身の決断だけでなく、他分野からのキャリアチェンジを受け入れられるKFの柔軟な姿勢もこの転身が成立する重要な要素であったと捉えている。一方で、正直な気持ちとして、他分野ましてやベンチャーの環境になじむことができるのか、社会に貢献できる成果を出すことができるのか、との観点で強い不安はあった。実際に入社してみると、これまでと大幅に異なる環境に困惑するとともに、自身の強みを活かす機会が予想以上に少ない状況であり、ある程度不安は的中した。しかしながら、何とか自身の立ち位置を確立するため必死にもがく日々を過ごした結果、入社後半年以上経過した今では、目まぐるしく変化する状況に慣れたと同時に、社会に貢献できる成果も出せていると評価している。やはり、環境を大幅に変えるというのは無傷では済まないが、大きな成長の機会であるとともに、刺激的な毎日が約束されるものと実感した。

3. ベンチャーでの活動状況

炉物理との直接的な関連性は低いが、ベンチャーに関する事例としてKFを取り巻く環境とそこでの活動状況を通してベンチャーの組織・人の置かれている状況を紹介する。これまで核融合分野では、世界的に公的機関が主導で技術開発が進められてきたが、1990年代から欧米を中心にベンチャーが起業し始め、少しずつ

ベンチャーによる資金調達が増加していった。ついに 2021 年には、米国での核融合に対する投資額は、民間企業の資金調達額が公的機関の資金を初めて上回るどころか、公的機関の約 4 倍の資金を調達するに至っている（図 1 参照）。米国に限らず世界的に見ても、民間企業の資金調達額は 2020 年までの累計が約 2000 億円であったのに対し、2021 年の単年で新たに約 3000 億円という驚異的な伸び方である（表 1 参照）。これは、(1) ESG 投資・ダイベストメント（石炭・石油からの資金引き上げ）先としての核融合への投資の増加、(2) 高温超伝導線材・球状トカマク等の実用化に向けた技術革新、などが主な要因である。

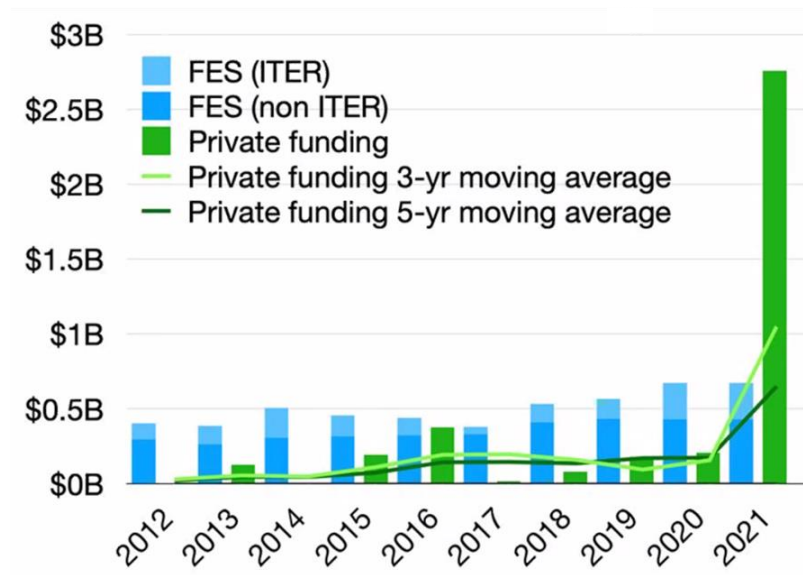


図 1 米国における核融合に対する投資額の状況 ¹⁾

表 1 核融合ベンチャーによる資金調達状況 ²⁾

Company	Location	Launch date	Concept	Investment (US\$) as of March 2020	
TAE Technologies	Orange County, CA, United States	1998	Field Reversed Configuration (FRC)	~770M	➡ 2021年投資額 Additional 1 billion USD
General Fusion	Vancouver, BC, Canada	2002	Magnetically confined acoustic compression	~300M	
Commonwealth Fusion Systems	Cambridge, MA, United States	2017	Tokamak (with HTS magnets)	180M	➡ Additional 2 billion USD
Tokamak Energy Ltd.	Oxford, United Kingdom	2009	Spherical tokamak (with HTS magnets)	~150M	
First Light Fusion Ltd	Oxford, United Kingdom	2011	Hypervelocity inertial confinement	~73M	➡ Additional 0.5 billion USD
ZaP Energy Inc.	Seattle, WA, United States	2015	Sheared-Flow-Stabilized Z-pinch	~14M	
Helion Energy	Redmond, WA, United States	2013	Field reverse configuration (FRC)	~12M	
MIFTI Fusion	Tustin, CA, United States	2008	Z-pinch	~8M	
Lawrenceville Plasma Physics	Middlesex, NJ, United States	2003	Dense Plasma Focus (DPF)	~7M	➡ 累計2,000億円 (2020年まで) 3,000億円 (2021年単年)
Proton Scientific	Oak Ridge, TN, United States	2012	Electron Beam Fusion (EBF)	~5M	
Compact Fusion Systems	Santa Fe, NM, United States	2017	Stabilised Linear Compression	~4.4M	
CTFusion	Seattle, WA, United States	2015	Spheromak		
Hyperjet Fusion	Chantilly, VA, United States	2017	Plasma-jet liner compression		

このように、核融合分野では急激に資金が集まっている状況であるが、その急激な状況の変化は基本的にはベンチャーを中心としたものである。一方で、日本では 2019 年まで核融合ベンチャーは存在せず、2019 年 10 月の KF 起業を皮切りに 2022 年 7 月現在で 3 社の起業にとどまっている。また、それらの資金調達額も欧

米と比較すると 2 桁以上小さく、いかにベンチャーが日本に根付いていないかを物語っている。さらには、英国や米国においては、政府主導で民間企業を支援しながら技術開発を進める姿勢が示されており、実際に各国独自で核融合発電の実現を目指すプロジェクトが進められている。日本の状況としては、技術的な観点では、これまでの大学や研究機関の努力の賜物により、核融合の中核技術において世界トップレベルの技術力を有しているものの、産業化の観点で官民一体の体制について欧米に後れをとっているのは否めない。欧米の人・金が潤沢に集まりつつある状況を横目で見つつ、将来の核融合において日本が主導権を握れるのか危惧するばかりである。

そのような核融合分野の情勢の中での KF の立ち位置や活動状況について紹介する。世界中の核融合ベンチャーの多くは、炉心における核融合反応の安定的な維持に関する技術開発に精力的に取り組んでいるが、KF はプラズマ加熱装置、ブランケット、水素同位体排気循環装置など炉心以外の核融合特有の特殊機器と、それらを統合したプラントエンジニアリングを対象として技術開発を進めている。したがって、表 1 に見られるような巨額の資金調達に成功しているベンチャーは KF の競争相手ではなく、むしろ核融合発電の実現に向けて共に協力し合うパートナーであると捉えている。KF が技術開発に取り組んでいる特殊機器は、いずれも核融合発電の実用化に不可欠なものであり、これらの実証により「あとはプラズマだけ」の状態をいち早く確立することを目指している。このような観点から、KF では将来想定される核融合発電所の環境に近い条件下で一連の特殊機器を統合的に開発試験することを目的として、核融合発電試験プラント「UNITY」

(**Unique Integrated Testing Facility**) の建設を進めている。その基本設計はすでに終え、今後 2023 年 3 月までにプラントの中核となる液体金属ループの一次建設を完工し、2024 年末に世界初となる発電実証試験の開始を予定している。UNITY のような核融合発電システムの試験施設はこれまで世界に存在せず、UNITY は核融合プラントの主要な機器の試験施設として、また核融合発電の総合的な技術実証施設として、世界初の試みであり、核融合分野において世界中から多大な注目を集めている。UNITY のような取り組みがスピーディに進められた背景には、特殊機器の専門家に加えて各方面から様々なバックグラウンドを持った技術者が集まり技術の融合を進められた点、失敗をおそれずにチャレンジできる環境があった点、が挙げられる。これらはまさにベンチャーが持つ利点であり、UNITY プロジェクトは、ベンチャーの利点が適切に活かされ機能した良好事例の 1 つと言えるであろう。当然のことながら、登壇者も「様々なバックグラウンドを持った技術者」の 1 人として UNITY プロジェクトに密接に加わり、ブランケット設計のための中性子輸送計算を実施するなど、これまでに培った技術力を最大限活用してプロジェクトの成功に向けて精力的に技術開発を進めている。また、バックグラウンド技術の活用のみではなく、核融合技術の習得・伝承に対する期待も強く、日々の自身の成長を肌で感じているところである。

4. 技術の融合に向けた取り組み

上述のとおり、炉物理の枠にとらわれずに原子力・エネルギー業界全体の発展に貢献したいとの思いからベンチャーへの転身を選択した状況であり、分野を超えた人材・技術の交流・融合が自身の使命の 1 つと認識している。そのような観点から、これまでに培った炉物理の技術力だけでなく、人脈も最大限に活用して、炉物理分野、核融合分野の双方にとって有益な技術の融合を進めていきたいと考えている。現時点では、核計算技術を中心に、炉物理技術が適用できるものを模索しながら核融合技術の習得を進めている段階であり、技術の融合について具体的に語れる状況には至っていない。まだ転職から日が浅いため、目に見えた活動はできていないものの、前職で関わった炉物理分野の複数の大学と連絡を継続し、実際に大学を訪問し共同研究に向けた打ち合わせを実施するなど、具体的な活動を進めつつある。今回、炉物理部会セッションにて講演の機会をいただけたのも、今後の分野を超えた交流を促進するための重要な機会と捉えており、KF の活動や核融合分野の状況に興味のある炉物理部会会員がいればぜひ協力の可能性を探っていきたいと考えている。

5. 炉物理とベンチャー

炉物理から少し引いた立場から、炉物理を俯瞰して見た印象とベンチャーとの親和性について述べる。核融合分野に身を置いてまず感じたのは、炉物理における核計算技術の深さである。その主な要因として、巨

大な共鳴吸収を持つ核種を大量に取り扱う必要がある点、固定源計算だけでなく固有値計算も必要な点が大きいと考えている。これらは、実効断面積評価手法の高度化をもたらしただけでなく、幾何形状や中性子源分布に対する近似に重要性を与えてきたと考えている。また別の観点として、産業化されて長い年月を経た原子力発電において、核計算技術高度化による信頼性向上の需要が継続的にあった点も、炉物理の核計算技術に深さを与えた要因である。一方で、核融合分野では重核種を扱わず固定源計算のみである点もさながら、まだ産業化に至っていないことから炉心形状をはじめとするプラント設計に不確定な要素が多いため、核計算の精緻化が炉物理ほど求められていないのが現状と認識している。そういう意味では、炉物理の技術が核融合分野の核計算に必要なのかとの疑問はあったが、実際のところは核計算結果を分析・考察するフェーズにおいて、炉物理の知識が強みとして活かされたというのが実感である。しかしながら、炉物理の適用範囲はさほど広くないとの印象も否定できない。現時点で関わっている業務だけでも、材料、熱力学、流体力学に関する知識が求められるが、これらには炉物理の知識は直接的にはほとんど役に立っていない。ただ、これまで炉物理分野において様々な課題に向き合ってきた経験を通して、物理現象を理解するための素養は高まっており、その点で炉物理を学んできたことが活かしているようには感じている。この点については炉物理特有の強みではなく、何らかの学問を修めることによって得られる教養のようなものかもしれないが。

ベンチャーとの親和性の観点では、炉物理とベンチャーにはあまり親和性がないように感じている。というのも、炉物理の技術としての完成度は高く、炉物理技術が産業化のボトルネックとなる状況が想像しづらいためである。ただ、ベンチャーへの転身や起業自体に重要性があるのではなく、各個人が主体的に考えて行動することにこそ重要性があると考えている。その観点で、特に若手の炉物理技術者には、どこでも生きていけるような自立可能な強みを持ってほしいと考えている。つまり、組織の看板に守られるようなマインドではなく、自身の個の力を高めていくことに励んでほしいとの思いである。そのためには、炉物理技術を深めていくことはもちろんであるが、「炉物理+ α 」というのが非常に重要となると考えている。むしろ、「+ α 」の部分こそ、炉物理技術者としての強みを発揮するための重要な部分と感じており、その部分でベンチャーと関わることになった場合に、炉物理技術が必要な場面において存分に力を発揮できると考えている。

6. おわりに

本稿では、これまで炉物理に携わってきた技術者である登壇者が、自身のベンチャーへの転身の事例を取り上げ、その体験を基にベンチャーでの活動状況や炉物理との関わりについて紹介した。核融合分野でのベンチャーを例に挙げて紹介したが、やはり日本のベンチャーの動向は欧米と比較して大きく後れを取っている状況であり、それは炉物理分野も同様の状況と認識している。SMR、高温ガス炉、浮体式発電所など、革新的な原子力技術の確立・産業化が望まれる中で、これまでの原子力産業で十分なノウハウを蓄積しているメーカ・エンジニアリング企業の取り組みが重要であることは言うまでもないが、特に産業化の加速において、ベンチャーが重要な役割を担うことも事実である。ただ、ベンチャー自体を強く勧めるというよりは、個々の技術者が自身の強みを持って自立可能な力を身に付けることこそが重要であり、その考えが定着した結果として、ベンチャーに関わる炉物理技術者が出てくればよいと考えている。今回の講演が、単に分野を超えた技術の融合に結び付くだけでなく、イノベーションの在り方、進め方についても広く議論して協力し合える関係性を築いていく足掛かりになることを大いに期待する。

参考文献

- 1) S. Wurzel, “Road to Commercialization: US.” The 2nd IAEA Workshop on Fusion Enterprises (2022).
- 2) W. J. Nuttall, S. Konishi, S. Takeda and D. Webbe-Wood, “Commercialising Fusion Energy: How small businesses are transforming big science.” Institute of Physics (2020).

*Masato Tabuchi¹

¹Kyoto Fusioneering

Reactor Physics Session

Reactor Physics Engineers be Ambitious!

– Suggestion of Venture Start-up –

(3) My custom-made nuclear career: from a PhD in reactor physics
to founding an owner-operator of SMRs in Estonia*Merja Pukari¹¹Fermi Energia**1. Introduction**

I'm an IPMA (=International Project Management Association) Level-C certified project manager with a PhD from nuclear fuel research and a considerable experience in supporting the nuclear power industry with data analysis, strategic planning, and project management.

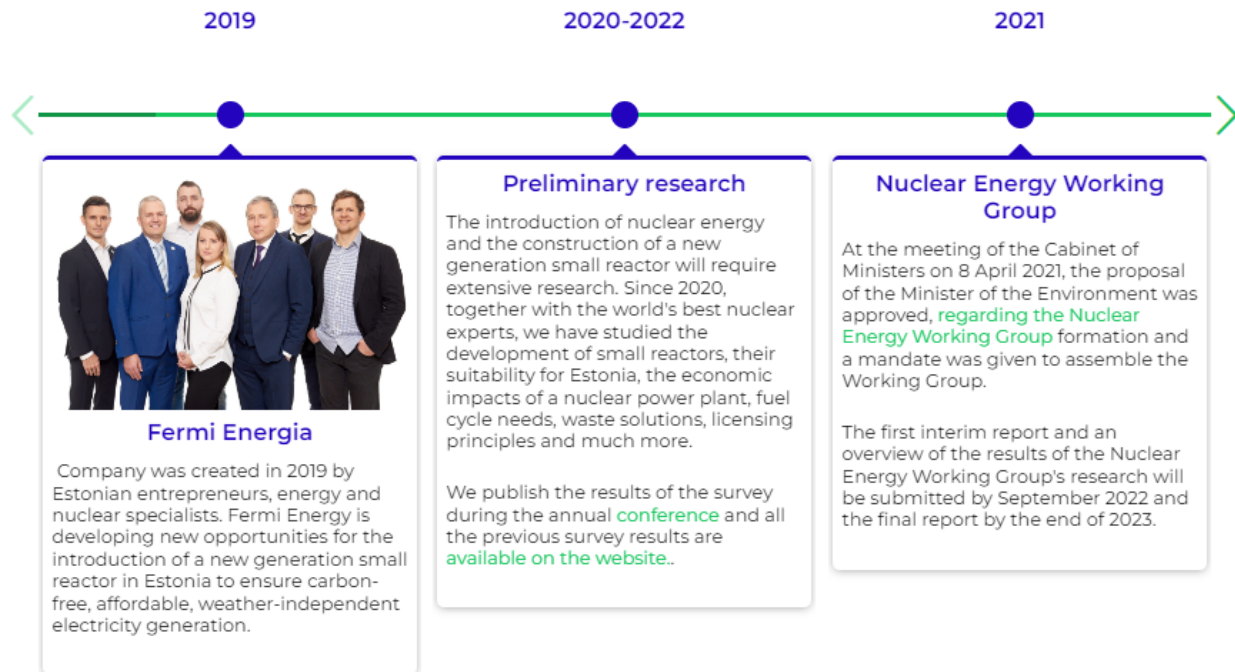
Always working towards increased technical competence, developing business acumen, and seeking ways to apply entrepreneurial mindset. Working with challenging tasks to ensure personal and organizational growth. By nature, a developer, an organizer, a negotiator, an analyst, a matchmaker, a collaborator, a planner, and a dreamer. Affinity for foreign languages and international work environment is not only reflected in personal history but is a strong driving force for future undertakings.

Awarded PhD of Reactor Physics by KTH (=Swedish Royal Institute of Technology), MBA of Entrepreneurship by Estonian Business School. Started career as a research associate of KTH, then Project Manager of Studsvik Nuclear AB, and now Nuclear Advisor of Swedish utility Vattenfall, while one of the founders of Estonian nuclear startup company; Fermi Energia.

2. Establish Fermi Energia

The tangible idea of Estonia's own nuclear power plant remained gathering dust for years, until Kalev Kallemets, Kaspar Kõöp and Henri Ormus met in the summer of 2018. The men, who are well aware of the latest developments in the nuclear field, discussed the possibility of building a completely different, new-generation nuclear power plant in Estonia, which would be based on the small modular reactors that are being licensed in Canada and the United States. A good example was the business model used by Teolisuden Voima and Fennovoima in Finland, where the owners of nuclear plants are energy consumers from all over the country. Rapidly developed technologies in the intervening years have made nuclear energy a future energy solution worth considering again for Estonia, which would help to ensure both reasonable energy prices, energy security and the fulfillment of nationally important climate goals.

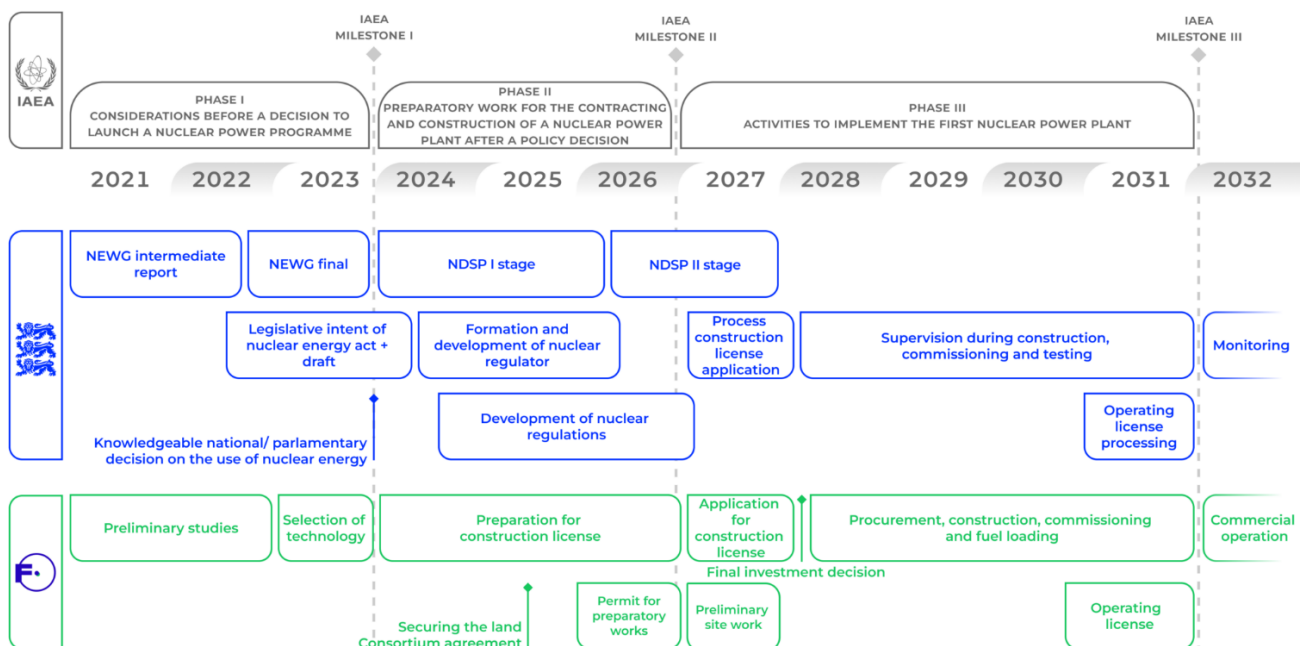
After extensive preliminary work, Kalev Kallemets, Sandor Liive, Henri Ormus, Kaspar Kõöp, Marti Jeltsov, Mait Müntel and Merja Pukari, myself, founded OÜ Fermi Energia. The founders are united by the belief that in order to achieve the goals of reducing carbon emissions, the country's energy portfolio must contain a manageable type of energy without carbon emissions that does not require subsidies. Due to the lack of mountain rivers, this energy can only be nuclear energy in Estonia.



3. Timeline of SMRs Deployment in Estonia

Bringing a small modular reactor to Estonia will require quite a lot of prior knowledge and research. Clear understanding of the options and their implications is needed before a country can make an informed and knowledge-based decision in principle to go nuclear or not. A decision in principle to use nuclear power does not mean that a decision to build a plant has been taken.

Fermi Energia's research plan is based on the IAEA's "Roadmap approach". The consideration of the use of nuclear energy and the subsequent development of the necessary infrastructure go through several stages before the station is completed and starts working, which, based on experience so far, takes about 10-15 years. According to today's best knowledge, commissioning of a small reactor in Estonia is feasible by 2031.



Reference: Fermi Energia Web site, <https://fermi.ee/>