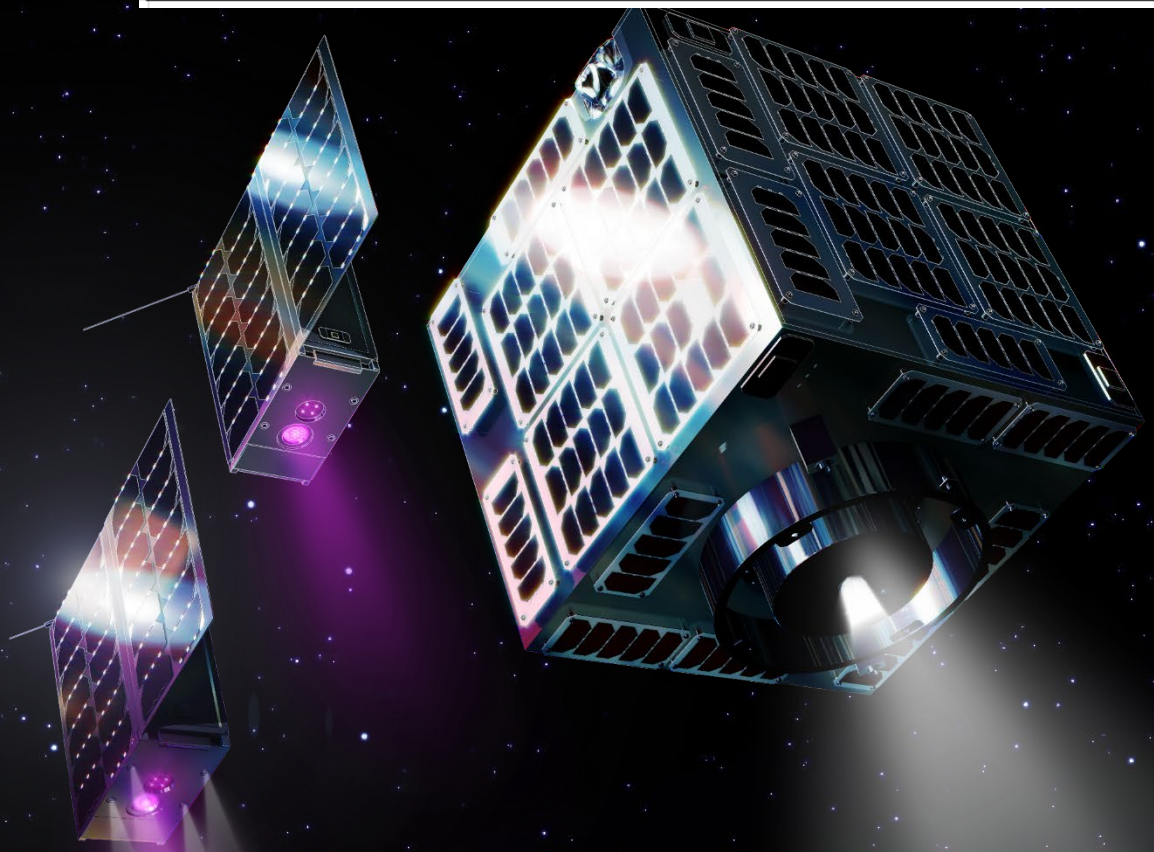


Pale Blue

スターダスト事業「小型衛星コンステレーション関連要素技術開発」成果報告

①推進系技術の開発　株式会社Pale Blue

© Pale Blue Inc.

事業の背景・目的

事業の背景・目的

- 小型衛星コンステレーションの普及拡大に伴い、我が国の宇宙活動の自立性および国際競争力確保のため、衛星向け基盤技術の開発が重要課題となっていた。
- 本事業では、小型衛星向け重点技術のうち「推進系技術」の研究開発・実証を実施した。
- コンステレーション衛星向け推進系には、高推力・低消費電力・低コスト・高信頼性が求められることから、レジストジェット方式を採用した。
- 推進剤候補として水・エタノール・アセトンを比較検討したが、安全性・取扱性・市場性を重視し、最終的には水推進機を重点的に開発する方針へ変更した。
- 100kg級コンステレーション衛星向け推進系技術を開発し、軌道上実証を行うことを最終目標とした。

© Pale Blue Inc.

本事業の実施内容

実施項目

A）インフラ設備の構築：真空試験設備、充填設備、推力測定設備等の整備

B）要素技術の開発：推進剤タンク、気化室、ノズル、制御基板、各種コンポーネントの開発・選定

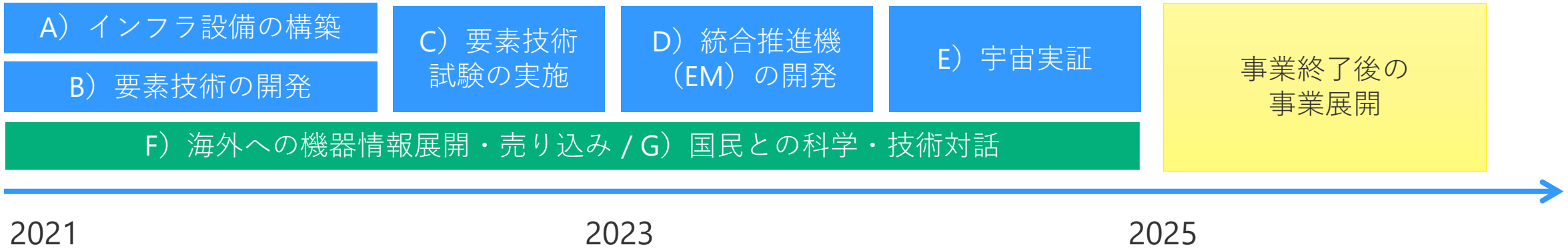
C）要素技術試験の実施：放射線試験、耐圧試験、温度環境試験、振動試験などによる技術検証

D）統合推進機（EM）の開発・試験：要素技術を統合した推進機を開発し、各種性能試験を実施

E）宇宙実証：CubeSatへの搭載および軌道上での性能確認

F）海外への機器情報展開・売り込み：海外展示会参加や顧客開拓活動

G）国民との科学・技術対話：メディア発信、シンポジウム参加等による成果普及



© Pale Blue Inc.

本事業の実施内容

実施項目

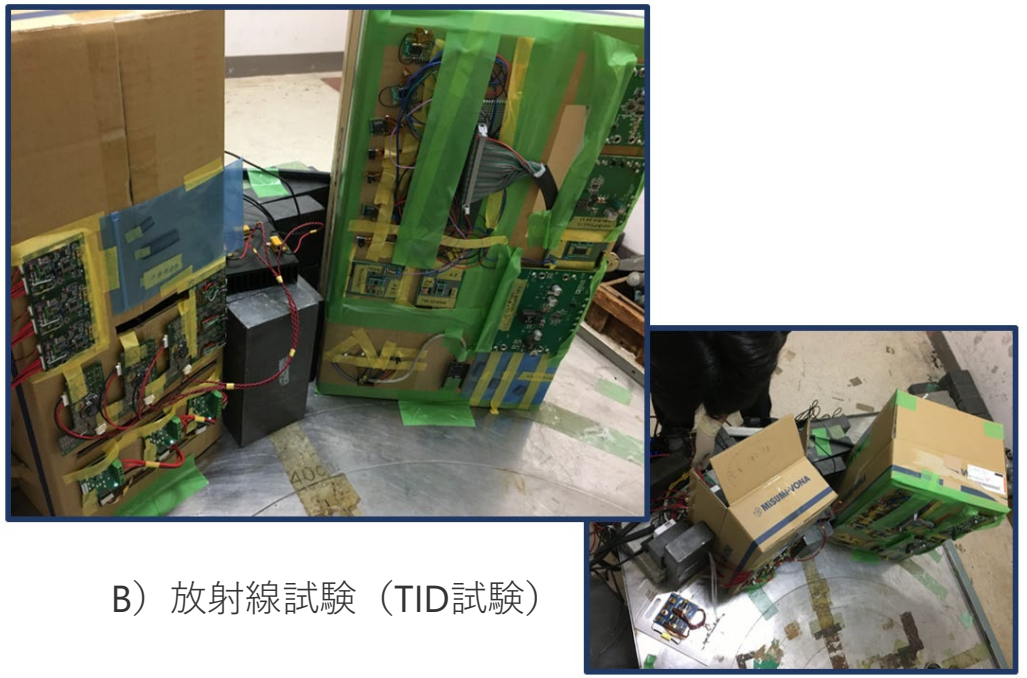
A） インフラ設備の構築
- 専用真空チャンバー、サブチャンバー、充填装置、推力測定装置を整備
- 特に推力測定装置はその後汎用化を行い現在に至るまでPale Blue社における推進機の性能評価を担っている
- エタノール取扱設備として局所排気設備を導入

B） 要素技術の開発
- 推進剤タンク、気化室、ノズル、制御基板の設計・製造を完了
- 圧力計、バルブ、ヒーター、ブラダ等の部品選定を完了
- 各要素技術に対する性能試験を実施し、十分な性能を持つことを確認

C） 要素技術試験の実施：放射線試験、耐圧試験、温度環境試験、振動試験などによる技術検証
- 試験制御基板に対しTID試験3回、SEE試験2回を実施し、採用半導体の放射線耐性を評価
- 長期保管試験で確認されたブラダ損傷・水透過事象についてFTA解析を実施、共振がブラダ破損の原因であることを特定
- 対策として、タンク内部へのクッション構造追加、膨張率を抑えたブラダの採用、EPDMやブチルゴム等の新材料評価を実施
- 衝撃試験・振動試験において対策の有効性を確認

A）推進剤充てん装置





B）放射線試験（TID試験）

© Pale Blue Inc.

本事業の実施内容

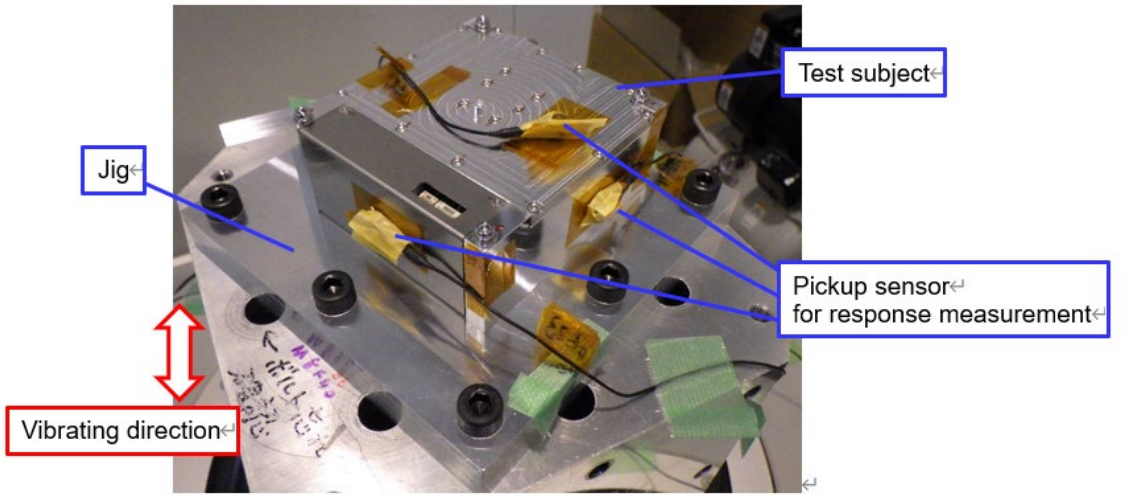
実施項目

D） 統合推進機（EM）の開発・試験：要素技術を統合した推進機を開発し、各種性能試験を実施

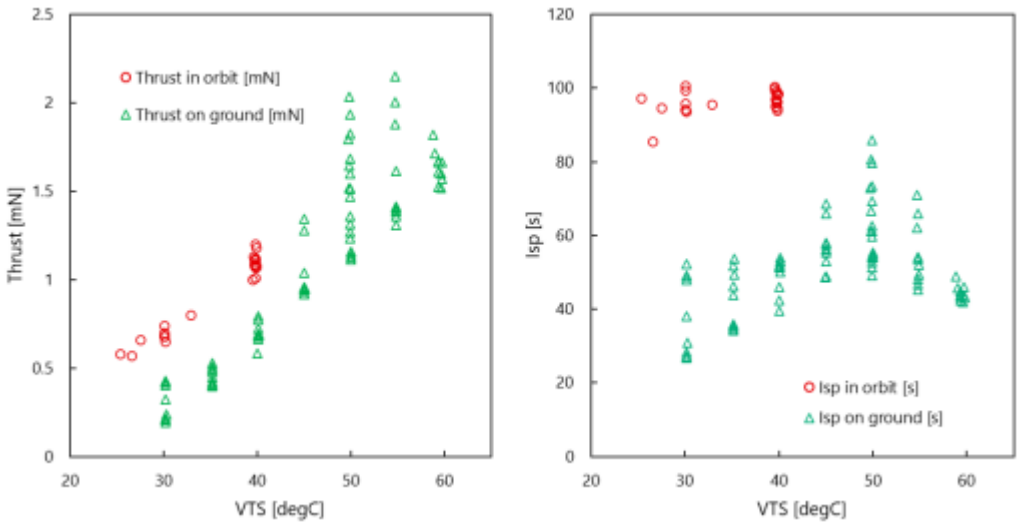
- 0.5Uサイズ、1kg以下、推進剤搭載量80g以上のCubeSat搭載推進機（EM）を開発
- スルーアウト試験により推進剤充填効率99.8%を確認
- 温度環境試験、温度依存性試験、機械環境試験で要求仕様を満足することを確認

E） 宇宙実証：CubeSatへの搭載および軌道上での性能確認

- アークエッジ・スペース社のCubeSatへ水推進機とエタノール推進機を搭載
- Falcon 9 Transporter-12により2025年1月14日に軌道投入
- 電源、通信、温度センサ、圧力センサ、ヒータ、バルブの全機能健全性を確認
- 軌道上で実際に推力生成を実施し、水・エタノール両推進機で推進機能を実証
- その後、現在（2026/10現在）に至るまで継続的に軌道上試験を実施し、実績およびデータの取得を継続



D）統合試験機（EM）の振動試験



E）宇宙実証における性能確認結果グラフ

（宇宙空間における地上試験との性能差の検証）

© Pale Blue Inc.

本事業の実施内容

実施項目

F） 海外への機器情報展開・売り込み：海外展示会参加や顧客開拓活動

- Small Satellite Conference、GSTC、IAC等へ参加。海外大学衛星プロジェクトの受注や海外政府機関との接点を獲得
- その後、この活動をもとにレジストジェットについて複数の引き合いを得て国際的に販売を進めている

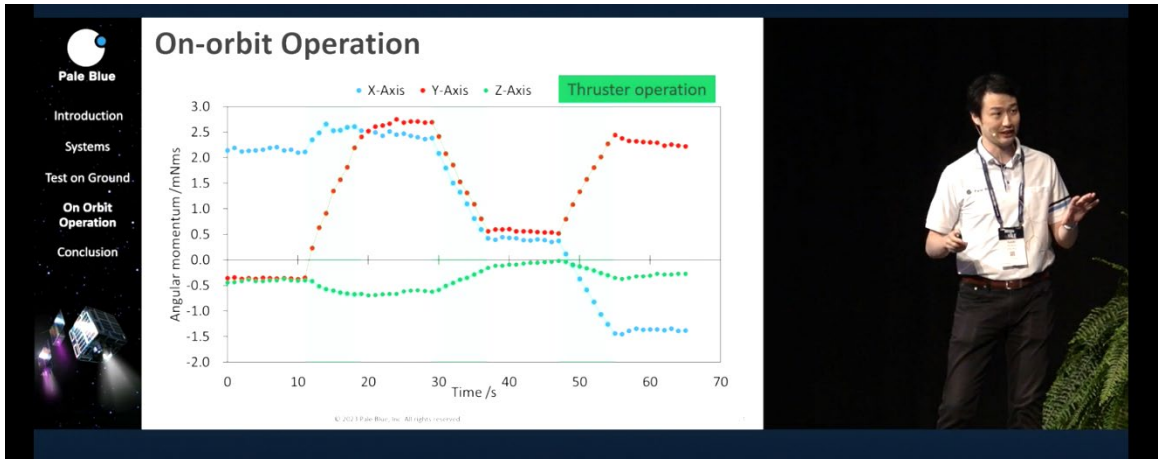
G） 国民との科学・技術対話：メディア発信、シンポジウム参加等による成果普及

- 国内外のメディア約100件で紹介され、第6回宇宙開発利用大賞「JAXA理事長賞」を受賞
- 東京大学公開シンポジウムやSmall Satellite Conference、International Electric Propulsion Conferenceなど、国内外で継続的な成果発信を実施

G）第6回宇宙開発利用大賞



F）Small Satellite Conference 2023における発表



G）公開シンポジウムにおける発表



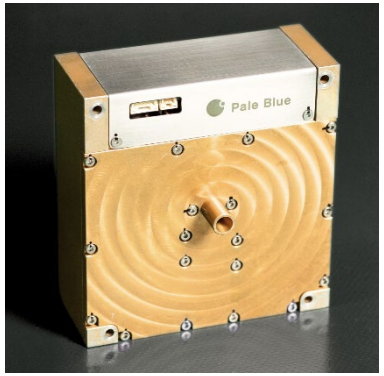
© Pale Blue Inc.

競合ベンチマークとの比較など

競合優位性について：当時と現在の状況

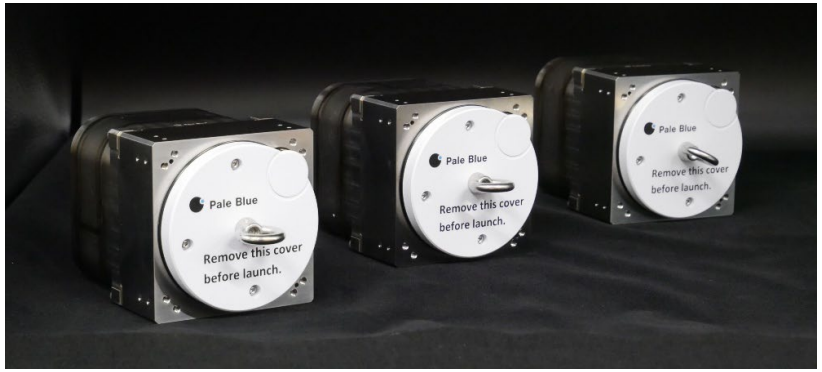
- 小型衛星向けの推進機では、燃費が良くタンクを小型化できる特徴をもつ電気推進が注目されており、中でも高圧での貯蔵が必要になるキセノン等の高圧ガス以外の推進剤を用いて推進機を開発する試みが広がっていた。
- 液体金属のインジウムを推進剤として多数の宇宙実績を持つEnpulsion社の「IFM Nano」、昇華性を持つヨウ素を推進剤とするBusek社の「BIT3」、同じくヨウ素を推進剤とするThrustMe社の「NPT30-I2」などが挙げられる。
- これらは他と比べて高い比推力や推力を持つが、強い毒性があるため取り扱いが難しいという課題がある。固体貯蔵されているヨウ素やインジウムを昇華・融解させるために必要な温度が高く、昇温に必要な消費電力や時間が肥大化し衛星本来の運用可能時間が短くなるという問題点もある。
- 水を推進剤にしているため、安全で取扱いが容易である上、水は真空中において蒸気圧が下がり、液体として扱えるために、ヨウ素やインジウムのように高温で維持する必要や昇温時間が長いという課題はない。
- 2026年現在においては、2023年に比べ衛星の大型化が進み、上記のような推進機が主にターゲットとしている50-100kg衛星よりも、200kgを超えるような小型衛星の需要が増加している。結果として、水レジストジェットに関しては、高圧貯蔵が必要ないというメリットよりも価格面や取り扱いやすさ、素早い起動といった点が強調されている。
- 現在、100kg以下の衛星市場において一定の需要を得ており、またCubeSatクラスにおいてはニッチな需要を満たすことができている。



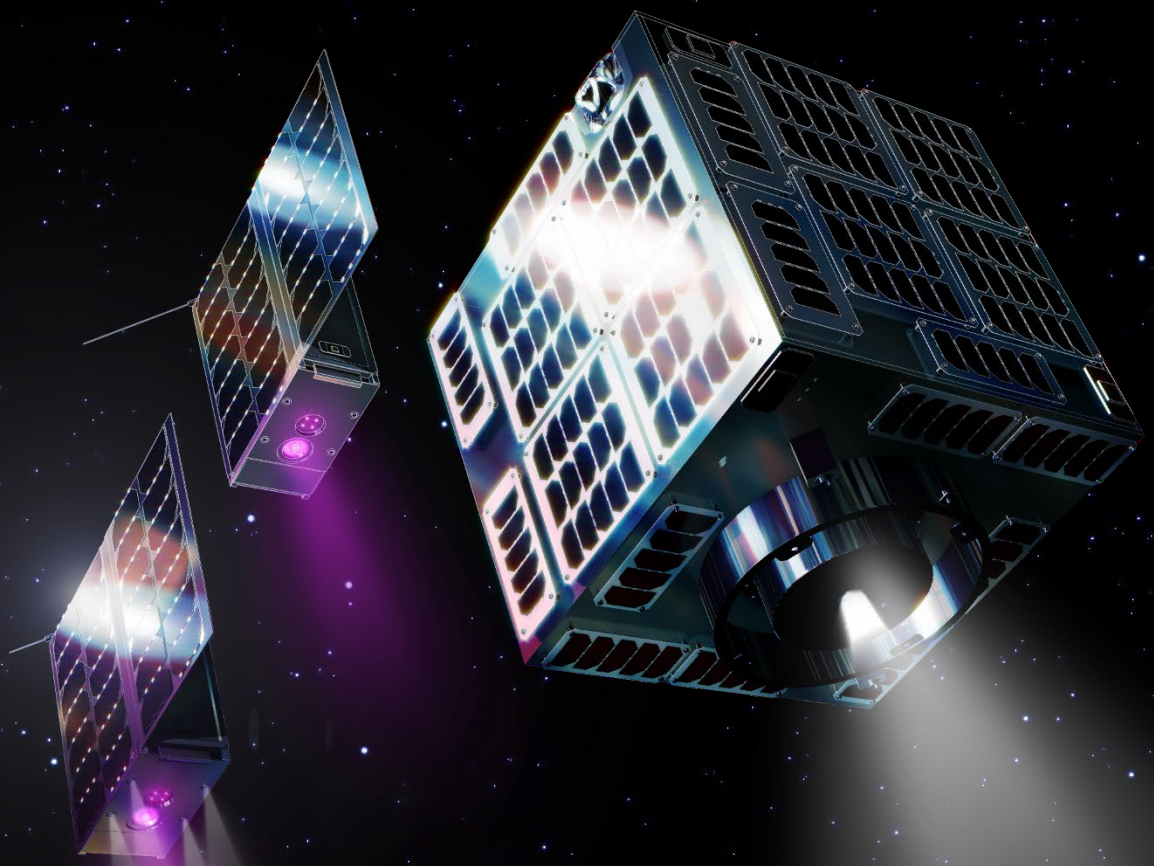




上端：PBR-10, PBR-20
（CubuSat向けレジストジェット）
中段：PBR-50
（レジストジェット）
下段：PBI（イオンスラスタ）



© Pale Blue Inc.



Pale Blue

© Pale Blue Inc.