

# PAV/UAM 국내외 개발 현황 및 HeV/STOL 기반 발전 전략

2021년 6월 24일 목요일 16:00~16:30 PM

**명 노 신 (Myong, Rho Shin)**

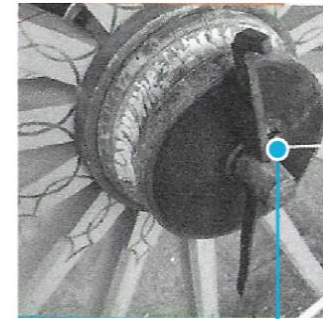
교수, 항공우주및SW공학부 항공우주전산모델링 연구실 <http://acml.gnu.ac.kr>  
센터장, 고효율·안전 항공핵심기술 선도연구센터(ERC) <http://actrc.gnu.ac.kr>

**경상국립대학교**  
*myong@gnu.ac.kr*

2021년 경남진주강소특구 네트워크 기술세미나 (여수 베네치아 호텔)

# 항공핵심기술 선도연구센터 (ACTRC) (2017-현재)

**센터 비전:** 항공산업 수요와 린치핀(급소) 기술 중심의 미래형 고효율 · 안전 핵심 시스템 기초원천기술을 개발하여, 진주·사천 항공국가산단의 R&D 기능을 담당하고, 국내대학 최초의 항공분야 산학협력/실용화 전문연구센터로 성장



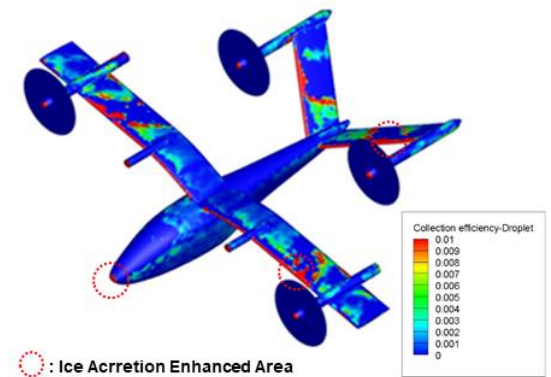
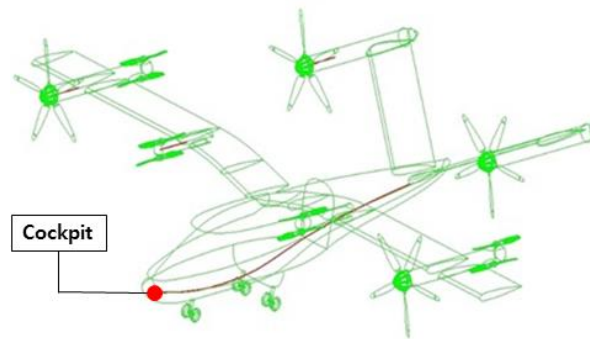
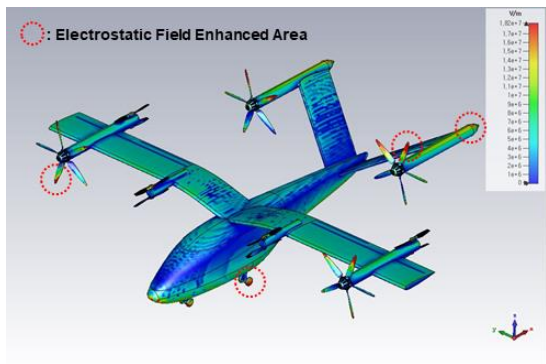
**Linchpin**

**ACT** Research Center for Aircraft Core Technology

<http://actrc.gnu.ac.kr>



# 항공우주시스템연구소 (ASRC) (2021년 9월 설립 예정)



“e-VTOL UAM 항공기의 낙뢰 및 결빙 영향성 분석 및 인증기술에 관한 연구,” ‘제 2회 항공기 인증 논문경진대회’ 최우수상

# PAV/UAM 국외 개발 현황-1

Item	Wingless	Winged	
	Multi-copter	Lift+Cruise	Vectored Thrust
Type			
Efficiency	Low	Mid	High
Major Companies	VOLOCOPTER, EHANG	BOEING, JOBY, CORA	AIRBUS, BELL, HYUNDAI, LILIUM



# PAV/UAM 국외 개발 현황-2

## eVTOL: How Many Players?

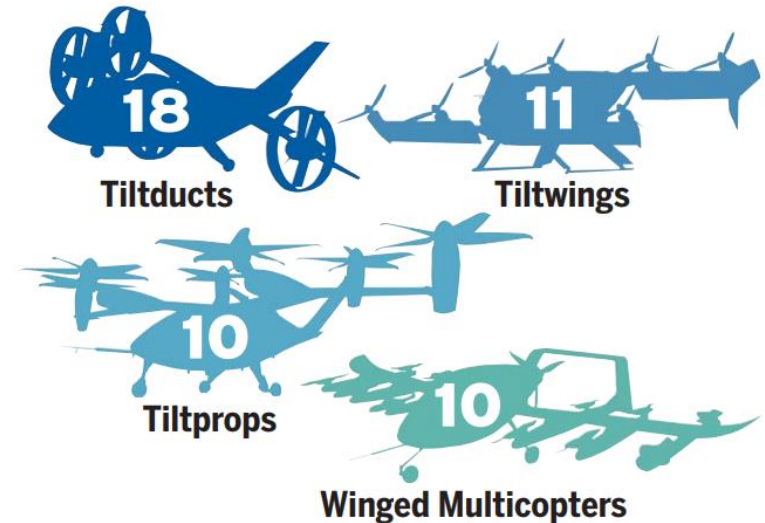
Stages of Development	Concept	Technology Demonstration	Prototype	Production
Status	Concept design Subscale tests	Proof-of-concept: Large-scale or full-scale demonstrator	Engineering or certification prototype	Batch or series production
Vehicle Type				
Vectored Thrust	48	5	3 { Joby Kitty Hawk Lilium	
Multicopter	24	13	2	1 {EHang
Lift + Cruise	20	6	2 { Beta Wisk	
Personal	27	14	4	2 { Kitty Hawk* Opener
Cargo	10	5	1 {Boeing	

\*Canceled

Aviation Week's analysis of the Vertical Flight Society's directory of electric vertical-takeoff-and-landing concepts reveals almost 130 commercial programs had been launched by early August. This excludes noncommercial concepts such as academic and amateur projects.

## Which eVTOL Design Will Win?

Still immature, the eVTOL market has yet to settle on any preferred configuration. The drone-style multicopter remains the most popular among eVTOL designs, but more-efficient vehicles that combine rotorborne vertical flight with wingborne cruise flight for increased speed and range are gaining ground. Among those designs, the leading configurations are:



Source: Vertical Flight Society/Aviation Week

AWST (Aviation Week & Space Technology), Aug. 17, 2020

# PAV/UAM 국외 개발 현황-3

## Seeing Through the Hype The AAM Reality Index

OEM	ARI	Vehicle Type	Operation
EHang	7.9	Multicopter	Autonomous
Joby Aviation	7.9	Vecored Thrust	Piloted
Beta Technologies	7.5	Lift + Cruise	Piloted
Embraer	7.5	Lift + Cruise	Piloted
Sabrewing	7.4	Vecored Thrust	Autonomous
Wisk	7.0	Lift + Cruise	Autonomous
Hyundai	7.0	Vecored Thrust	Piloted
Volocopter	6.2	Multicopter	Piloted
Airbus	5.8	Multicopter	Piloted
Bell	5.8	Vecored Thrust	Piloted
Pipistrel	5.8	Lift + Cruise	Autonomous
Vertical Aerospace	5.7	Vecored Thrust	Piloted
Elroy Air	5.7	Lift + Cruise	Autonomous
Lilium	5.5	Vecored Thrust	Piloted

SMG Consulting's Advanced Air Mobility (AAM) Reality Index (ARI) scores each market entrant on a scale of 0 to 10: 0 is a company considering entering the market with little or no financing, of which there are many; 10 is company with a commercial product in high-volume production, of which there are none—so far. Blue indicates a cargo use case, which is not covered in this Aviation Week analysis.

Source: SMG Consulting

### EHANG

Chinese drone-maker EHang was one of the earliest movers, unveiling its prototype autonomous single-seat multi-copter at the CES consumer electronics show in Las Vegas in January 2016. It was the first, and so far only, eVTOL startup to go public, in December 2019. And by the end of 2020, EHang says, it had delivered more than 100 vehicles and completed almost 10,000 flights with “zero accidents.”

The Guangzhou-based company expects to receive airworthiness certification for its two-seat EH216 autonomous air vehicle in 2021 from the Civil Aviation Administration of China (CAAC). It has launched dedicated logistics and firefighting versions and plans to have a new 600-unit-a-year factory operating by mid-2021. All



EHANG

this puts the company well ahead of its nearest rivals.

### JOBY AVIATION

Joby is another early mover, but secretive, and has emerged over the past year as the most well-funded of the UAM startups, well on the way to certification and operation of its eVTOL vehicle. The company opened 2020 with a \$394 million investment from automaker Toyota and a commitment to operate air taxis for Uber Elevate by the end of 2023. Joby ended



JOBY AVIATION

2020 having raised a total of \$820 million and agreed to acquire the Elevate team from Uber.

The Santa Cruz, California-based company has been flying its second-generation five-seat tiltprop eVTOL since 2019. Described by Joby as “a glider with batteries that can take off vertically,” the six-propeller



# PAV/UAM 국내 개발 현황-1

핵심부문	주요분야	상용화 기반 마련				상용화					대중화					단계별 목표
		2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
기체·부품	기체구조	UAM용 고신뢰성 기체설계 기술				기체 경량화 제작기술										운용시나리오를 만족하는 UAM 기체 설계/제작, 비행체의 임무시간 및 성능을 만족시키기 위한 기술개발 등
	동력·추진시스템	UAM용 고성능 추진동력원				도심운항을 위한 전기추진기술										
	기계시스템	승객 운항안전성 확보기술				기체 안전장치 설계 기술										
	인증·시험평가	UAM 기체용 소재·부품인증 기술				UAM 기체 인증시험평가기술										
항행·교통관리	UAM 통합 교통관리	UAM 공역설계 및 관리 스케줄링 기술				UAM 가상통합 운용 체계 검증 기술					실시간 운항정보 기반 UAM 자동화 교통관리 기술					단계별 교통량 수용 가능한 안정적인 UAM 교통관리 체계 수립 및 운용기술 확보, 안전운항 필요 정보교환 등 기술개발
	UAM CNSi	CNSi 획득 및 활용체계 검증 기술				UAM 운용을 위한 정보공유 네트워크 기술					UAM용 협력적/비협력적 감시 기술					
인프라	버티포트 구축 및 운용 시스템	스마트 보안(security) 및 안전(safety) 기술				도심형 버티포트 구축기술					버티포트 고효율 자동화 운용기술					버티포트 구축 및 운용, 버티포트 보조설비 분야, 특화도시 분야 등 전체 기술개발
	버티포트 보조설비 시스템	상용통신 기반 버티포트 통신 기술				버티포트용 에너지 최적화 기술					고전압 고신뢰 버티포트 충전 기술					
	특화도시										버티포트 특화형 스마트 시티					
서비스	운송·운용 시스템	UAM 조종사 업무저감 기술				UAM 승객화물 운송 관리 기술					지능형 예방정비 기술					법제도 분야 초기/성장기/성숙기 기술개발
	운항정보 수집분석 및 공유 시스템	UAM 도심기체 예측 데이터 기반 운항 경로 설정 모듈 개발				UAM 항로상 현존 및 신규 장애물 관리체계										
	운용자격 체계	도심 운용 3차원 정밀 지도 구축 기술				UAM 종사자 자격제도 수립					UAM 종사자 인력양성 체계					
핵심기술	자율비행	선전후 상황인식 및 충돌회피 기술				UAM 자율 항법 기술					UAM 비행체용 탑재 통신 기술					SVO, 원격조종을 거쳐 완전자율비행, 기체소음 및 진동저감분야 150m 거리에서 60dB 이하 등 달성
	기체소음진동 저감	도심운용을 위한 소음진동 저감 프롭러터 기술				UAM 기체용 소음진동 제어 기술										

국토교통부 등 관계부처, 2021년 3월

# PAV/UAM 국내 개발 현황-2

## 경남항공우주산업 육성 기본계획 2030

• 미래형 비행체 개발기반 구축 : 10개 과제 1,225억 원

10개 과제 핵심기술명	기간	예산(억원)
① 전통식 PAV용 상반회전 프로펠러용 비접촉 자기기어 핵심모듈 개발 및 디지털 트윈 기술을 접목한 테스트 베드 구축	2021년~2026년(6년)	60
② 고온초전도 및 액체수소 기반의 항공기용 전기추진 시스템 핵심기술 개발	2021년~2026년(6년)	230
③ 무인기용 고에너지밀도 리튬황 전지 원천기술 개발	2023년~2027년(5년)	30
④ Electric Propulsion Thruster 개발 및 테스트 베드 구축	2023년~2027년(5년)	35
⑤ 지능형 항공전자 기술 적용 화물운송 무인비행체 개발을 통한 개인용비행체(PAV) 기반기술 확보	2021년~2025년(5년)	550
⑥ 차세대 복합형 회전익기 및 UAM 로터 블레이드 개발 기반 기술확보를 위한 로터 블레이드 기술개발	2021년~2023년(3년)	90
⑦ 차세대 항공기 구조손상 자기탐지를 위한 탐재용 스마트 압전센서 기술개발	2021년~2024년(4년)	100
⑧ 미 인가 드론 탐지 및 무력화 기술 개발(Anti-Drone)	2021년~2023년(3년)	60
⑨ UAS 설계혁신을 위한 가상 시뮬레이션 및 데이터 기술 개발	2022년~2026년(5년)	40
⑩ AI 기반 다중임무 UAV/UCAV 자율비행 테스트 베드 구축	2023년~2027년(5년)	30

과학기술정보통신부 지정 “**다분야 통합 도심항공 모빌리티 핵심기술 개발**” 선도연구센터 (서울대, 2021.6-2028.2): UAM 다분야 디지털 트윈 체계 종합설계, 강건 자율시스템 설계, 전산해석 기법 및 저진동/초저소음/내추락 기술 연구

국방 수직이착륙기 특화연구센터 (2022년 이후 계획; 6년)

글로벌 UAM 기술개발 동향과 시장 전망 (2021년 3월 5일, CHO Alliance, 675 페이지):

현대자동차(주), 한화시스템(주), LIG넥스원(주), 한국공항공사, (주)파블로항공, (주)베셀, (주)프리뉴, (주)숨비, (주)KT, SK텔레콤, 한국항공우주산업(주), 한국토지주택공사, (주)네온테크, 제이씨현시스템(주), (주)한빛드론, (주)두시텍



# PAV/UAM 개발 전략 (Strategy)

- It is **not a plan**; rather, it is a **framework for decision-making**, a set of **guiding principles** which can be applied as the situation evolves.

VS. **Sitting duck** (thing easy to be attacked and killed)

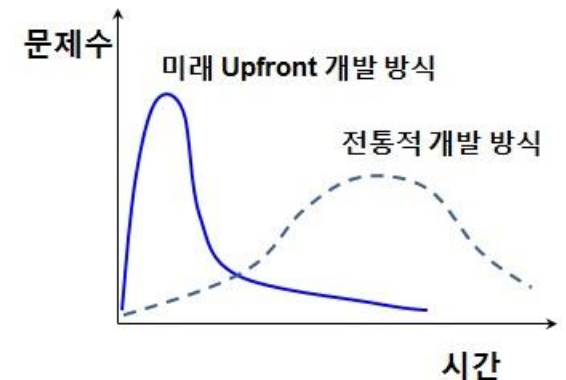
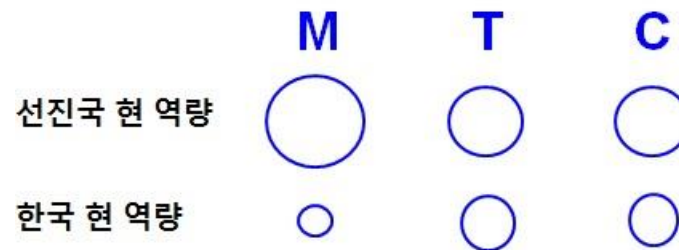
- It is **not a self-claimed goal**; it is always **against hostile enemies or competitive contenders**.

VS. **Wishful thinking-based plan**

수요 창출 및 Marketing 능력 (M)

핵심기술 보유 (T)

Customer Support (C)

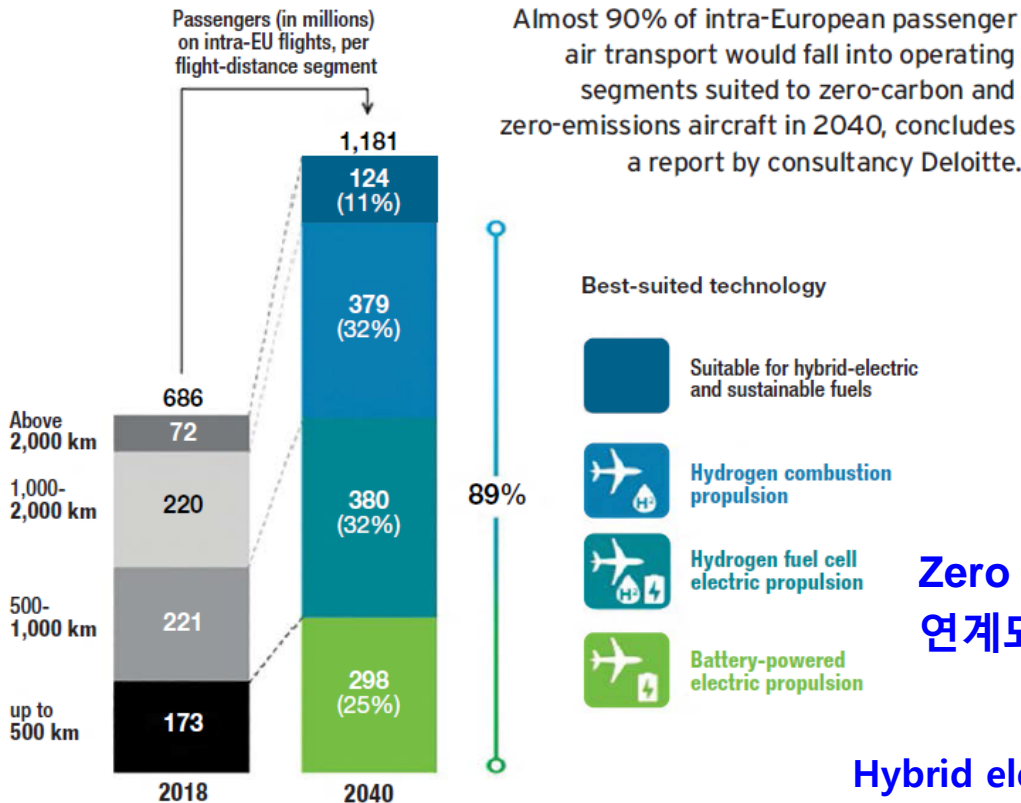


# PAV/UAM 개발 전략: Marketing

국방 분야 수요 창출

해안 도서 화물, 승객 및 관광 수요 (풍력 등 풍부한 전기 활용)

## European Aviation's Zero-Carbon Potential



Almost 90% of intra-European passenger air transport would fall into operating segments suited to zero-carbon and zero-emissions aircraft in 2040, concludes a report by consultancy Deloitte.

## Island-Hopping Flights Show Promise As Market For Electrified Aircraft

Graham Warwick October 10, 2019



Zero Emission 상업용 항공기와 연계되는 분야 (HeV/STOL)

Hybrid electric Vertical/Short Take-Off & Landing

Source: Europe's Future Aviation Landscape, Deloitte report, April 2021

# PAV/UAM 개발 전략: 핵심 Technology-1

## UAM and the Benefits of Digital Design (AWST Nov. 23, 2020)

- Accelerates the design process by enabling the **(multi-disciplinary) simulation and optimization before committing to a physical prototype**
- Moving toward digital manufacturing that supports **additive manufacturing**
- **Remote collaboration** for maximum reach via immersive 3D

## Challenges to Using Electric Propulsion (AWST May 17, 2021)

- **Low energy density of batteries:** 12 kWh/kg vs 0.2~0.25 kWh/kg  
(NASA predicts 0.4 kWh/kg batteries commercially ready by 2035.)
- **Question of hydrogen:** large tanks required; question of scalability of fuel cells to the MW levels



# PAV/UAM 개발 전략: 핵심 Technology-2

## Hybrid-Electric Propulsion (AWST Dec. 7, 2020)

- **Hybridization** of piston/turbine engines and electric motor
- Hydrogen-electric propulsion: either combustion (take-off) and fuel cells (take-off & cruise) or combustion (take-off & cruise) and fuel cells (take-off)

## Critical Performance Measure: Range

$$R_f = \left\{ \eta_p / (g \cdot sfc) \right\} (C_L / C_D) \log(m_0 / m_f)$$

$$R_{ce} = \left\{ \eta_{ca} / (g \cdot m_{sp}) \right\} (C_L / C_D) (m_{batt} / m_0)$$

$$\frac{R_{ce}}{R_f} = \frac{sfc}{m_{sp}} \frac{(m_{batt} / m_{e0})}{\log(m_{f0} / m_f)}$$

Cf. **Peukert effect**: The effective capacity of the battery decreases with increasing current taken from the battery.

# PAV/UAM 개발 전략: 핵심 Technology-3

for a range of “several hundred kilometers” at 250 kph (155 mph). First flight is scheduled for 2022, followed in 2024 by the hydrogen version. Planned to be on the market by 2024, the M1h has tandem seating for performance and aesthetic appeal to the pilot-owner.

Set to follow the M1h by a year, the five-passenger Alcyon M3c regional

In Italy, a team drawn from both aviation and motorsports is developing an aircraft that combines hybrid-electric propulsion with a capability for both vertical and STOL. Startup Manta Aircraft's ANN started life as a single-seat sport aircraft designed for Formula One-style racing but has evolved into a two-seater aimed at

missions such as fast cargo and coast patrol. The company is targeting an operating cost of €200-250/hr. (\$250-300), substantially less than for a helicopter performing similar missions.

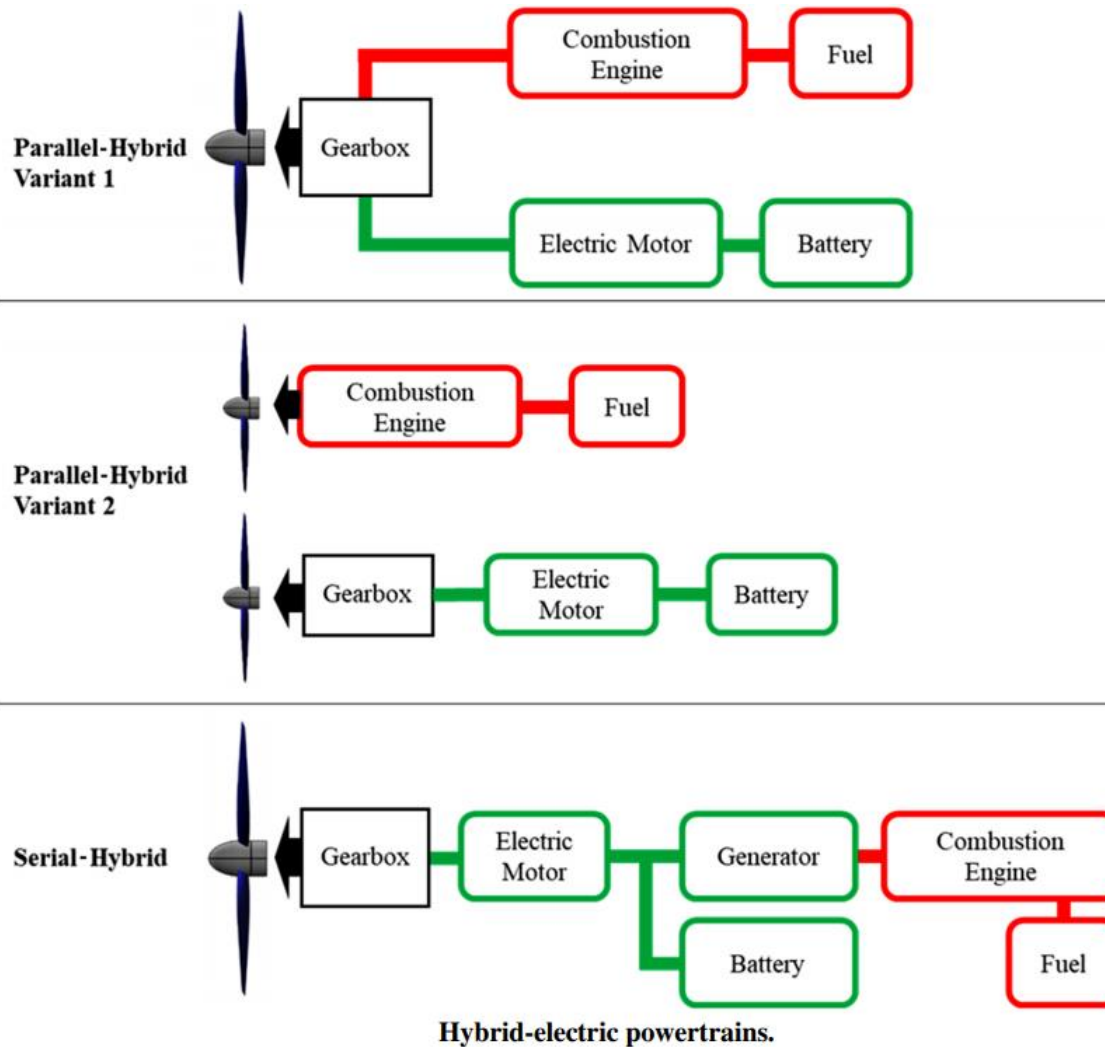
Manta has begun flying a one-third-scale model of the ANN2 to develop flight control laws for the complex configuration. There are 16 control ef-

**A one-third-scale model is being used to develop the flight control software for Manta's hybrid-electric VTOL/STOL ANN2.**



AWST, Dec. 15, 2020

# PAV/UAM 개발 전략: 핵심 Technology-4



JOURNAL OF AIRCRAFT

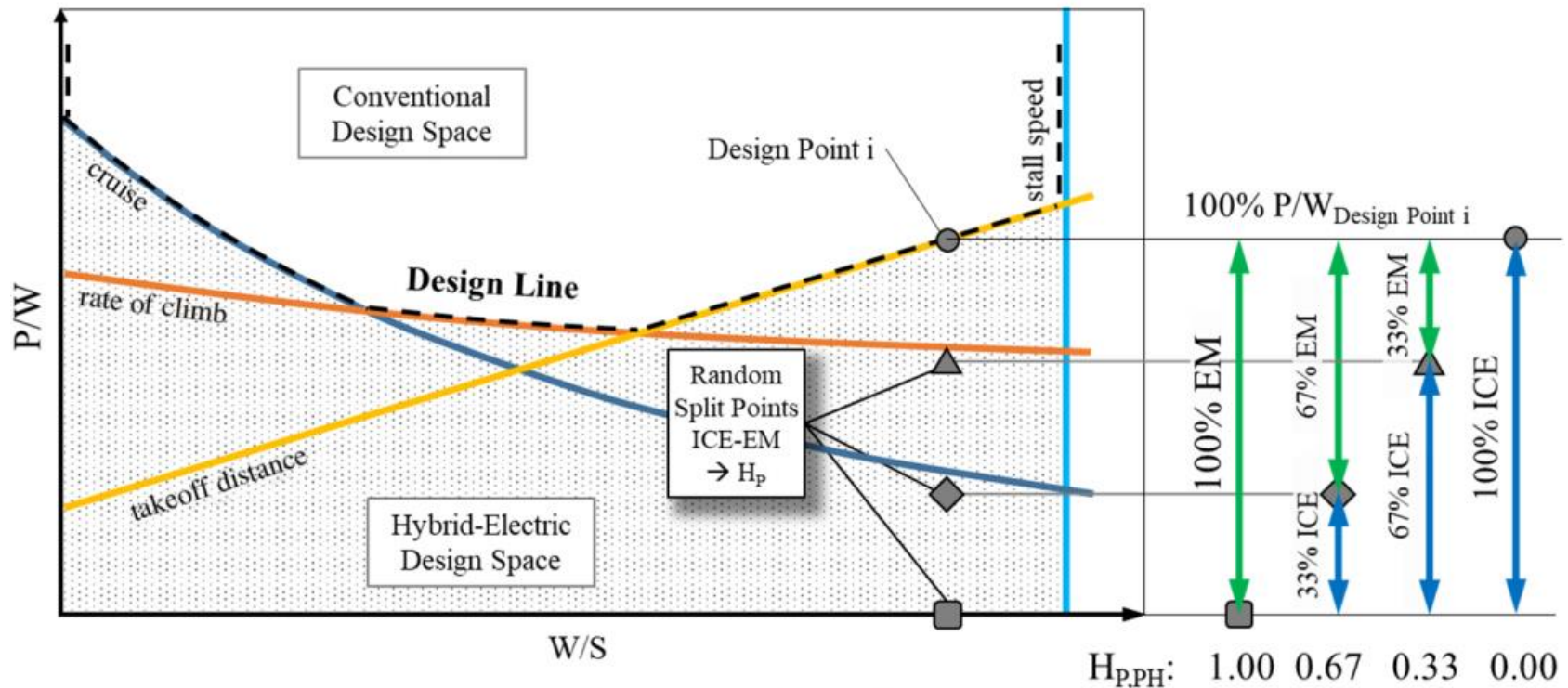
Vol. 57, No. 2, March–April 2020

D. Felix Finger, RMIT University,  
Australia

Initial Sizing Methodology for  
Hybrid-Electric General Aviation  
Aircraft



# PAV/UAM 개발 전략: 핵심 Technology-5



Design space of parallel-hybrid aircraft.

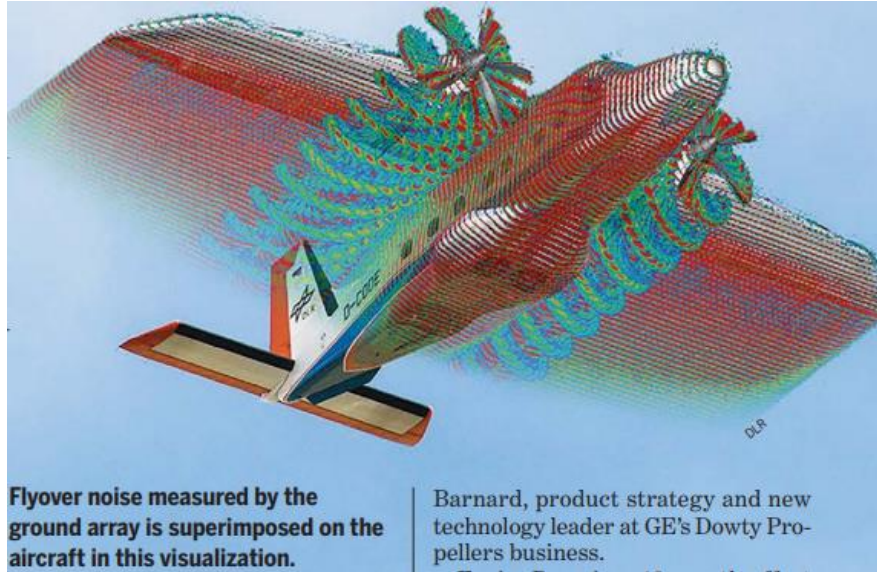
JOURNAL OF AIRCRAFT

Vol. 57, No. 2, March–April 2020

D. Felix Finger, RMIT University, Australia

Initial Sizing Methodology for Hybrid-Electric General Aviation Aircraft

# PAV/UAM 개발 전략: 핵심 Technology (시험평가)-6



AWST, Nov. 9, 2020

낙뢰의 직접 효과 및 간접 효과  
시험 및 평가

낙뢰보호시스템 개발

소음원 파악 및 저감을 위한  
Flyover 소음 측정시험 및 평가



University of Manchester, 2017

# PAV/UAM 개발 전략: 요약

## M 관련

- 국방 분야 수요 창출 (선도구매)
- 해안 도서 화물, 승객 및 관광 수요 (풍력 등 풍부한 전기 활용)
- Zero Emission 상업용 항공기와 연계되는 분야 (HeV/STOL)

## T 관련

- 성능 우수성 (화물, 임무, 안전 등; 최근 라팔 전투기 사례)
- 가성비 (미국 GA MQ 무인기 대비 터키 무인기 1/10 가격 사례)
- System Engineering Approach (전기 추진의 비행제어 영향성 등 복잡성)
- Two-track 전략 (기업주도 소수 정예 10-20명 Upfront 방식 설계/제작/시험에 전념; 바텀업 핵심기술 개발 및 연구 생태계 조성)
- Rapid Turnaround
- 극도의 생산 효율성 달성 (스마트 공장, 4차산업혁명 접목)



# eVTOL Certification: Who Are The Leaders?

## eVTOL Certification: Who Are The Leaders?

Graham Warwick



### Volocopter VoloCity

Credit: Volocopter

Volocopter is aiming for EASA SC-VTOL type certification for its two-seat VoloCity by the end of 2022. The German startup is the first eVTOL developer to receive its design organization approval from EASA, a key step toward certification. The production organization approval is in progress through a strategic partner and the air operator certificate to begin air taxi service is also in progress, says Volocopter. The company plans to begin air taxi service in 2023 and has named Singapore and Paris as locations.

## eVTOL Certification: Who Are The Leaders?

Graham Warwick



### EHang EH216

Credit: EHang

EHang's autonomous two-seat EH216 autonomous air vehicle has been in flight testing since early 2018, but its application for type certification by the Civil Aviation Administration of China was formally submitted in December 2020 and accepted in January. EHang does not know how long the process will take but is hoping for certification by 2022. The Chinese startup plans to operate the EH216 on its own air taxi service and has launched the "100 routes" initiative to develop trial services in China.