

# 광 계측 기술 응용 분야

광 계측 기술은 지금까지 단독으로 진보되어 온 것이 아니라, 다른 계측 수단과 병용함으로써 부가적인 정보를 부여하는 기술로서, 또 어느 대상 물체에 대하여 어떤 계측 조건 하에서는 다른 계측 방법에 비하여 유효하게 사용할 수 있다는 관점에서 발전되어 왔다. 본 고에서도 각 응용 분야가 안고 있는 앞으로의 목표를 광 계측 기술을 어떻게 활용하면 달성할 수 있을지라는 관점에서 설명하였다.

편집자 주

본문은 생체 계측, 의료용 진단 치료, 광학 소자 제조 기술 및 평가, 광 통신 시스템, 환경 계측의 네 가지 응용 분야에 초점을 맞추어 광 계측 기술의 미래 동향에 대하여 설명하였다. 광 계측 기술은 지금까지 단독으로 진보되어 온 것이 아니라, 다른 계측 수단과 병용함으로써 부가적인 정보를 부여하는 기술로서, 또 어느 대상 물체에 대하여 어떤 계측 조건 하에서는 다른 계측 방법에 비하여 유효하게 사용할 수 있다는 관점에서 발전되어 왔다. 여기서도 각 응용 분야가 안고 있는 앞으로의 목표를 광 계측 기술을 어떻게 활용하면 달성할 수 있을지라는 관점에서 설명하였다.

그림 1은 광 계측 기술 응용 분야의 거시적인 로드맵이다. 네 가지 응용 분야에 대하여 실현해야 할 미래의 목표를 내걸고, 이들 목표를 달성하기 위하여 광 계측 기술에서 실현해야 할 과제를 화살표 내에 기재하였다. 각 분야에서 화살표 위의 네모에는 과제를 극복함과 동시에 필요로 하는 계측 기술, 측정 방법에 요구되는 사항을 기재하였다.

생체 계측 및 의료용 진단 치료 분야에서는 친인간 의료 실현을 목표로 하며, 광을 이용한 계측 및 진단이 향후 더욱 중요해질 것으로 예상된다. 따라서, 광이 생물체에 미치는 피해를 줄이기 위하여 계측 시간의 단축화, 계측 감도의 향상이 요구된다. 광학 소자 제조 기술 및 평가 분야에서는 다양한 민생 기기의 고도화, 다기능화에 의해 생활의 질을 향상시킴으로써 진정한 삶의 질의 실현이 요구된다. 민생 기기를 구성하는 다양한 광학 장치는 고밀도, 대용량, 다기능화될 것으로 예상되며, 그들의 제조 기술, 평가 시스템 중에서 공간적으로 고분해능을 가지며 다양한 계측 정보를 취득할 수 있는 광 계측 기술의 개발이 요구될 것이다. 광 통신 시스템 분야는 광대역, 하이비전 등으로 대표되는 고도의 정보화 사회를 실현하기 위하여 지금보다 더욱 광 기술이 중요해질 것으로 예상된다.

특히, 통신에서 취급하는 정보량의 비약적인 증가가 불가피하며, 캐리어 파장 영역 및 전파 공간 영역에서의 정보 전달 수단의 다중화 기술이 발전될 것으로 예상된다. 광 계측 기술은 정보의 다중화를 뒷받침하는 중요한 기초 기술이 될 것으로 생각되며, 시간 분해 간섭 측정이나 광자의 3차원 제어법 등의 발전이 기대된다. 환경 계측 분야에서는 인공적으로 형성된 도시 환경에서 자연과 공존할 수 있는 사회를 실현하기 위하여 다양한 대처 방안이 계획되고 있다. 환경 계측은 응용 분야도 넓어 여러 가지 대상 물체를 생각할 수 있으나, 공통되는 사항으로서 자연 환경 변화에 대응할 수 있는 측정 조건의 완화, 얻어진 계측 정보의

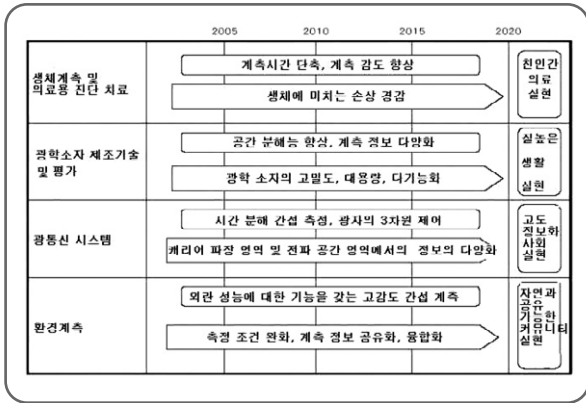


그림1. 광계측 기술 응용 분야의 로드맵

공유화 및 융합화가 중요할 것이다. 이들의 실현에 대해서는 외란에 대한 성능을 갖는 고감도 간섭 계측의 개발, 계측 동적 범위(dynamic range)의 광대역화가 요구된다.

### 1. 생체 계측 및 의료용 진단 치료 분야의 광 계측 기술 로드맵

광을 프로브로 한 생체 계측 및 의료용 진단 치료는 X선이나 (선 등에 비해 광이 갖는 광자 에너지가 낮고 친생체적이므로, 향후 더욱 유망한 진료법이 될 것으로 예상되고 있다. 지금까지는 광파 간섭(coherence) 단층 영상법(OCT)이나 광 토포그래피가 사용되었으며, 더 높은 정밀도의 개선, 임상 진단에 대한 응용이 기대되고 있다. 그림 2는 생체 계측 및 의료용 진단 치료 분야의 광 계측 기술 로드맵으로서, 생체 기능 검출, 생체 임상 진단, 생체 광 치료의 각 카테고리에서 발전되어야 할 사항을 들어 어떠한 광 계측 방법 및 광 응용 기술이 주목될 것인지에 대하여 나타내었다.

광파 간섭 단층 영상법(OCT)을 이용한 생체 기능 검출은 이미 SLD(superluminescent diode) 등의 저간섭 광원을 이용하여 눈의 안구 길이 등의 광 계측에 관한 연구가 활발하며, 향후 임상 진단 안과로 이어질 것으로 예상된다. 또한 OCT는 표피하 수 mm까지의 범위에서 공간 분해능이 수  $\mu\text{m}$ 의 단층 이미징이 가능하며, 뇌기능 계측의 한 방법으로 유망하다. OCT의 프로브 광을 광파이버 등에 도파시키고, 프로브 단자를 체내에 주입함으로써 세포를 검출하는 방법이 기대된다. 또한 공간 분해능을 향상시킴으로

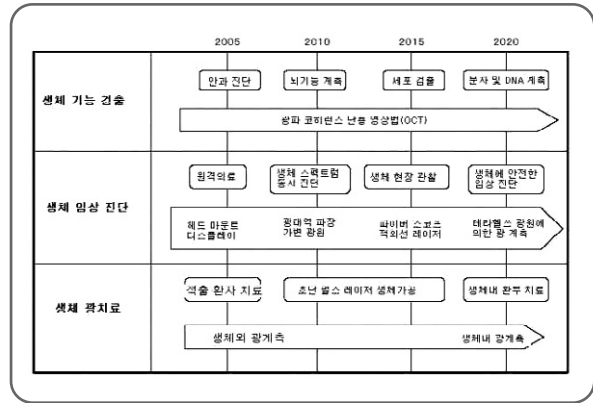


그림2. 생체 계측 및 의료용 진단 치료 분야의 광 계측 기술 로드맵

써 분자 및 DNA 계측 등에 대한 응용을 생각할 수 있다. 생체 임상 진단에서는 최근 원격 의료에 대한 기대가 높아지고 있다. 이는 과소지나 원격지의 의료 서비스에 그치지 않고, 도시에서도 자택이나 직장에서 고도의 의료 진단을 받을 수 있게 됨을 의미한다. 이 원격 의료에서 헤드 마운트 디스플레이를 사용하여 가상 현실을 실현하고, 생체 광 계측을 하는 것이 유망해질 것이다. 생체 광 계측과 생체 스펙트럼을 동시에 진단하는 계측 방법이 개발됨에 따라, 고도의 생체 임상 진단이 가능해질 수도 있다. 광대역 파장 가변 광원은 생체 스펙트럼 동시 진단 광원으로서 유망하며, 이 광원을 사용한 광 생체 계측 발전이 요구된다. 살아 있는 생체를 있는 그대로 관찰하는 것은 생체 임상 진단의 궁극적인 목적이며, 이를 실험함과 동시에 파이브스코프나 적외 영역 레이저의 이용이 증가될 것으로 예상된다. 또한, 생체에 안전한 임상 진단을 실시하면서 광자 에너지가 작은 테라헤르츠 광원에 의한 광 계측의 개발을 고려할 수 있다.

의료용 레이저를 사용한 생체 광 치료는 이미 생체 외부로 환부를 적출하여 치료하거나, 생체를 절개하여 그 부분을 치료하는 실용 단계에 들어서 있으며, 향후 생체 내부에서 환부만을 치료하는 기술이 진보될 것으로 기대되고 있다. 이를 위하여, 리모트 마이크로 머신 등을 이용하여 생체 내에 광 프로브를 주입하여 환부의 분류 및 치료 후의 진단을 행할 수 있는 생체 내 광 계측 기술의 개발이 필요하다. 또한 가까운 미래에는 생체 광 치료에 효과적인 방법으로 초단 펄스 레이저에 의한 생체 가공이 검토될 것이다. 이 치료 방법의 기초 기술로 광 계측의 이용이 고려된다.

## 2. 광학 소자 제조 기술 및 평가 분야 의 광 계측 기술 로드맵

디지털 비디오 카메라를 비롯하여 각종 프레젠테이션에서 사용하는 프로젝터, 수퍼마켓의 팝업 등록기에 이르기까지, 광학 소자가 다양한 형태로 이용되고 있으며, 앞으로도 각종 민생 기기에 광학 소자가 사용되리라는 사실은 의심할 여지가 없다. 광 계측 기술은 그러한 광학 소자 검사에, 또 광학 소자를 제조하는 기기의 제어 등에 더욱 활발하게 활용될 것으로 예상된다. 그림 3은 광학 소자 제조 기술 및 평가 분야의 광 계측 기술 로드맵으로서, 세 가지 카테고리에 있는 향후 기대되는 광 계측 기술에 대하여 나타내고 있다.

광 디스크는 1982년 오디오용 광 디스크로서 상품화된 콤팩트 디스크(CD)에 이어 1996년 비디오용 광 디스크로서 디지털 비디오 디스크(DVD)가 개발되었다. CD 및 DVD 모두 직경 12cm의 디스크 상에 CD는 700MB, DVD는 8.5GB의 디지털 정보를 기록할 수 있으며, 광 디스크는 앞으로도 고밀도화가 기대되는 광학 소자이다. 고밀도의 광 디스크를 성형하기 위한 마스터 디스크의 제조 기술, 상품화된 고밀도 광 디스크로부터 디지털 정보를 판독하는 광 픽업 광학계의 제품 평가, 또 회전하는 광 디스크의 위치 제어에 대하여 광 계측 방법이 꼭 필요한 기술이 될 것이다. 광 디스크에서 정보를 담당하는 피트의 협착화를 위하여 광원의 단파장화를 들 수 있다. 작년 화제를 모은 청색 레이저 기록에 의한 광 디스크 성형 및 계측 기술의 확립이 요구된다. 차세대 광 디스크로서 나노미터 제어 광 디스크의 연구 개발이 시작되었다. 나노미터 제어 광 디스크 제조의 요소 기술로서 광 계측 방법에 대한 기대가 높아질 것이다. 또한 광 디스크의 고밀도화를 위하여 다파장, 다치 기록이나 3차원 다층 기록을 실현하는 기술이 발전될 것으로 기대되고 있다. 이들 기술을 실현하기 위하여 광 계측 기술의 활용이 고려된다.

현재 20년 이상 광 계측 기술이 사용되어 오고 있으며, 앞으로도 광 계측이 중요한

기초 기술로서 대접받는 반도체 제조 장치 및 반도체 소자 검사에서, 간접 계측 기술을 이용한 마스터링 광학계의 동적 제어가 중요한 과제가 되었다. 간접 계측 방법은 원래 높은 감도를 갖는데, 중량이 크고 반응이 느린 반도체 제조 장치의 동적 제어에 응용하기 위하여 새로운 마스터링 광학계의 개발, 그 광학계 제어를 위한 광 계측 방법의 개발이 요구된다. 광 디스크와 마찬가지로 반도체 장치도 고밀도화가 요구되고 있다. 극자외광 EUV를 광원으로 사용한 광학계의 개발이 기대되며, 이 광학계의 평가에 대한 광 계측 기술의 이용을 생각할 수 있다. 광원의 단파장화에 따른 반도체 장치의 고밀도화에는 앞으로 점차 한계가 보이며, 비선형 다중 노광 광학계나 양자 간섭 노광 광학계 등 새로운 노광 현상의 이용이 기대된다. 이들 노광 광학계들이 실용화될 경우, 광 계측 기술을 이용하여 반도체 제조 장치의 제어 및 반도체 장치의 검사를 실시할 것으로 예상된다.

다양한 민생 기기 및 소비자 제품에 조립되는 광학 소자의 제조 및 검사는 평범하지만 앞으로의 광 계측 기술에서 중요한 영역이 될 것이다. 왜냐하면, 광학 소자가 조립되는 민생 기기 및 소비자 제품의 시장에서의 역할의 크기나 많은 종류 이외에도, 앞으로는 다기능 광학 소자를 민생 기기에 조립시킬 것으로 예상되며, 그 광학 소자들의 제조 및 검사에는 다양한 요구에 부응할 수 있는 광 계측 기술이 반드시 필요하기 때문이다. IC 카드가 마침내 세상에 등장하여 현재 한정된 범위에서 상용화되고 있으나, 전자 상거래의 개인 인증, 전자 의료 서비스의 건강 데이터 관리 및 전자 보험증, 전자 행정 서비스의 각종 증명서의 취득 등 각종 응용이 고려되고 있으며, 앞으로 매우 빠르게 보급될 것이다. 이 IC카드 본체에는 광학 소자는 포함되어 있지 않으나, 홀로그래픽 광학 소자 등을 조립시켜 지문 등으로 개인 인증을 할 수 있도록 계획되어 있다. 이 광학 소자를 탑재한 IC 카드의 제품 검사에 광 계측 기술이 이용될 것이다. 가까운 미래에는 컴퓨터 비전용 데이터 작성을 위한 3차원 형상 및 반사율 광 계측 기술에 대한 개발이 기대된다. 이는 민생기기로서 어뮤즈먼트용 컴퓨터 그래픽 작성이나, 지금까지 평면(2차원)이 주류를 이루었던 다양한 제품 설계도의 3차원 표시에 이용할 수 있다. 또한 생체 계측 및 의료용 진단 치료 분야에서 설명한 원격 의료, 생체 내 광 계측이나 환경 계측 분야에서 설명한 인간의 접근이 위험한 영역에서의 안전 위기 관리 또는 가정 내 부재 시의 방법 관리 등에도 응용할 수 있을 것이다.

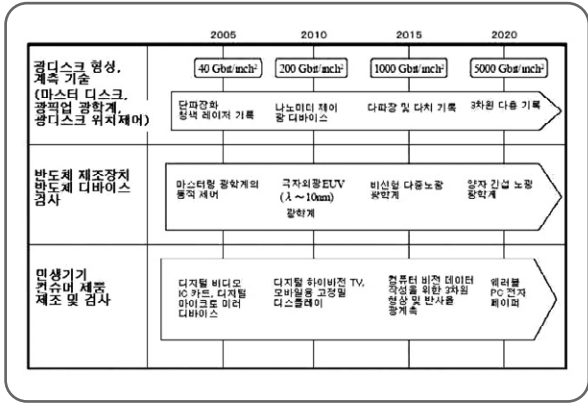


그림 3. 광학소자 제조기술 및 평가 분야의 광 계측 기술 로드맵

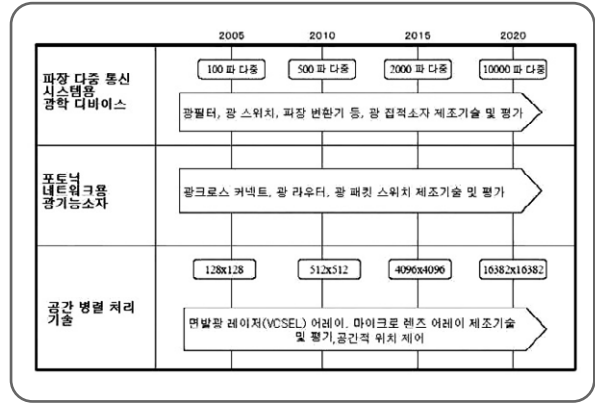


그림 4. 광통신 시스템 분야의 광 계측 기술 로드맵

### 3. 광 통신 시스템 분야에서의 광 계측 기술 로드맵

광 통신 시스템은 향후 고도 정보화 사회를 실현하기 위하여 빠르게 정비될 것으로 기대되는 중요한 사회시설이다. 고속 회선망으로서의 광파이버의 설치는 물론 FTTH(Fiber To The Home)로 대표되는 각 가정 단말기로의 광파이버의 접속, 이를 실현하기 위한 광학 소자의 개발과 검사 등 각 단계에서 광 계측 기술이 주요 기술로 사용될 것이다. 여기서는 광 통신 시스템 분야에서 고려되는 세 가지 카테고리에서, 지금부터 기대되는 테크놀로지 및 관련되는 광 계측 기술에 대하여 설명한다. 그림 4는 광 통신 시스템 분야에서의 광 계측 기술 로드맵으로서, 파장 다중 통신 시스템용 광학 장치, 포토닉 네트워크용 광기능 소자, 공간 병렬 처리 기술을 나타내고 있다.

최근 통신 정보량의 증가로 인해 파장 다중 통신 시스템의 실현이 요구되고 있다. 지금까지의 광 통신 시스템의 대용량화는 전자 회로의 속도 향상에 따른 전송 속도의 고속화에 의존하는 부분이 컸으나, 앞으로 예상되는 정보량의 증가를 종래의 전자 회로 기술로는 달성하기가 어려우며, 광 파장 다중화에 의한 정보의 병렬화가 반드시 필요할 것이다. 이 파장 다중 통신 시스템용 광학 장치로서 광 필터, 광 스위치, 파장 변환기 등의 광 집적 소자의 이용이 고려되며, 이들 광학 소자의 제조 과정 및 제품 검사 시 광 계측 기술의 활용이 기대된다.

광 네트워크 시스템은 지금까지 점에서 점으로의 전송이 중심이었으나, 광에 의한 링 형태의 네트워크로부터 최종적으로는 메쉬형 네트워크가 구축되고, 광 레이어에서의 효율화를 달성하여, 광 레이어와 IP 레이어의 통합 제어

를 가능하도록 한 포토닉스 네트워크 시스템의 실현이 기대되고 있다. 이 시스템의 구축을 위하여 광 크로스 커넥트, 광 라우터, 광 패킷 스위치와 같은 광 기능 소자의 개발이 급선무이며, 광 계측 기술을 이용한 제품 개발과 그 다음으로 제품 검사가 필요하다.

파장 다중화에 의해 전송 정보를 대용량화하고, 포토닉스 네트워크 시스템 이용에 따라 전송 효율의 향상 및 다기능화하는 한편, 송수신 단말·네트워크의 노드 부분에 있어서 파장 영역에서의 다중화와 비다중화의 처리가 필요하며, 시스템 구축에 따른 광학 부품에 있어서의 공간적인 병렬 처리 기술이 중요해질 것으로 생각된다. 병렬로 처리하는 횟수가 증가됨에 따라 광학 부품의 고밀도화가 예상되며, 면발광 레이저(VCSEL) 어레이, 마이크로 렌즈 어레이를 비롯한 각종 마이크로 옵틱스 장치의 가공 기술, 광학 소자의 제품 평가를 지원하는 광 계측 기술의 활용을 생각할 수 있다.

### 4. 환경 계측 분야의 광 계측 기술 로드맵

환경 계측은 자연 환경의 보전, 기상 관측, 도시 방재 등 여러 가지 목적을 위하여 앞으로 유망한 계측 분야라고 생각된다. 그 이유 중 하나는 인류의 활동이 전세계로 그 규모가 확장되어 각각의 사람들이 생활하고 있는 지역 이외의 자연 환경이나 기상에 큰 영향을 미치고 있기 때문에, 환경 문제를 전세계 규모로 받아들여야 할 필요성이 커졌기 때문이다. 또한 인구가 집중되어 있는 도시에서 자연 재해에 대한 위기 관리, 고층 건축물의 노화에 따른 재해

옵토 메카트로닉스 계측 기술 로드맵

방지 등에 대한 요구도 높아지고 있다. 최근에는 컴퓨터 기술의 발전으로 인해 세계적인 환경 시뮬레이션이 가능해졌으나, 시뮬레이션을 실행한 후 요구되는 세계 각지의 환경 데이터의 측정, 시뮬레이션 결과를 검증하는 실제 관측까지 환경 계측에 대한 요구는 점점 증가되고 있다. 여기서는 그림 5의 환경 계측 분야의 광 계측 기술 로드맵에 나타난 바와 같이, 환경 계측 분야에서 광 계측 기술의 이용이 유망시되는 세 가지 카테고리에 대하여 설명한다.

지금까지 인류 사회는 주로 석유, 석탄 등의 연료에 크게 의존해 왔다. 그러나, 자원의 고갈은 시간 문제이며, 장기적으로는 태양을 중심으로 한 자연 에너지의 이용이 예상되어, 이를 지원하는 형태로서의 광 계측 기술의 다양한 이용을 생각할 수 있다. 이미 태양, 풍력 에너지의 이용이 실용화되고 있는데, 이들의 효율화를 도모하기 위하여 광을 이용한 태양 관측이나 기상 관측이 중요해질 것이다. 인공 위성을 이용한 GPS(Global Positioning System)에 의한 관측점의 특정과, 광에 의한 자연 환경의 계측 데이터를 고속 통신망을 통하여 세계 각지에서 바로 바로 수집하여 실시간으로 기상을 예측한다. 해양은 지표의 7할의 면적을 차지하므로, 파도 에너지의 에너지 변환 효율이 향상되면 앞으로 유망한 에너지원이 될 것이다. 이를 지원하기 위하여 해면 상태를 검출하는 광 계측의 이용이 기대된다. 또 땅속에 축적된 지열 에너지를 이용하는 것도 괜찮은 방법이다. 지금까지 석유 탐사 등으로 배양되어 온 광을 이용한 지각 계측 기술의 응용이 고려된다.

인류의 생활 수준이 향상됨에 따라, 그 생활 수준을 유지하기 위해서는 다양한 안전 위기 관리가 필요하다. 미래의 고도화 사회에서는 개인 인증이나 물체의 형상 인식이 중요한 기술이 될 것이다. 지금까지 얼굴, 지문, 눈의 망막 패턴 등을 2차원 영상으로 취득하여 영상 처리로 해왔던 패턴 인식 이외에, 광 계측으로 얻어진 깊이 있는 정보를 부가한 3차원 패턴 인식의 이용을 생각할 수 있다. 이

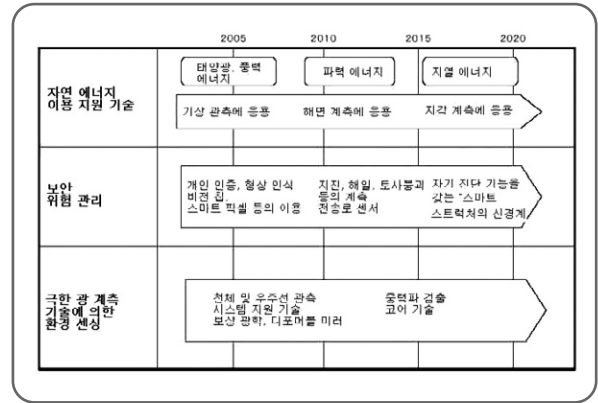


그림5. 환경 계측 분야의 광 계측 기술 로드맵

때, 비전 칩, 스마트 픽셀 등을 이용하여 광 정보의 단계에서 전처리를 하는 광 계측 기술의 발전이 기대된다. 환경 계측으로 자연 재해를 예지하여 그 방재들에 도움이 되고자 하는 시도가 있다. 땅 속 등에 광파이버 전송로형 센서를 배치하여 환경 계측을 행하는 기술 발전을 생각할 수 있다. 도시 건축물의 고층화는 점점 더 가속화되어 갈 것이다. 앞으로의 고층 건축물에는 노화된 장소 등의 자가 진단 기능이 요구되며, 그를 위한 신경계로서 광 계측 기술의 발달이 요구된다.

천체 및 우주선 관측에서 약한 광을 검출하거나 중력과 검출에 의한 대형 간섭 계측 시스템의 구축 등 극한 광 계측 기술에 의한 환경 계측은 앞으로 광 계측 기술 중에서 기대되는 응용 분야 중 하나이다. 우주로부터 보내진 입사광을 파면 센서로 검출하고, 그 센서 출력을 디포머블 미러(가변 미러) 등의 파면 변조 소자로 피드백하여 입사광파의 파면 형상을 보정하며, 영상의 열화 제거 등이 가능한 실시간 파면 보상 광학 기술의 발달이 요구된다. 지금까지의 천문학은 가시광선, 전파, X선 등의 전자파를 이용하여 각종 정보를 검출하였으나, 만일 앞으로 중력과 검출에 성공하면, 초신성 폭발에 의한 거대 질량의 격렬한 변화 등 지금까지 얻을 수 없었던 새로운 천문 정보를 얻을 수 있을지도 모른다. 간섭거리가 긴 레이저 등을 이용한 원거리 광 경로차에 대한 광 계측 기술은 중력파를 검출하는 시스템의 핵심 기술로서 중요한 위치를 차지하게 될 것이다. 로드맵에서는 언급되지 않았으나, 자동차의 핸즈 프리 자동 운전을 실현하기 위한 자동차 도로에 설치되는 차간 광 계측 시스템의 정비, 대기 오염·폐기 가스를 모니터링하는 광 검출 시스템 등 광 계측 기술의 환경 계측 시스템에 다양하게 응용할 수 있다.